Planificación de cultivos

Consulte nuestra página web: **www.sintesis.com**
En ella encontrará el catálogo completo y comentado

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

Planificación de cultivos

Yolanda Bordón Ferré

Eva Blasco Argenti

EDITORIAL SINTESIS

© Yolanda Bordón Ferré
Eva Blasco Argenti

Colaboradores:
Verónica García Gil, Alberto Llopis García, Alejandro Pérez Ferrer

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono 91 593 20 98
http://www.sintesis.com

ISBN: 978-84-917172-1-8

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

Índice

PRESENTACIÓN 11

1. INTRODUCCIÓN A LA ECOLOGÍA DE LOS CULTIVOS 13

Objetivos 13
Mapa conceptual 14
Glosario 15
1.1. Introducción 15
1.2. Principios de ecología 16
1.2.1. Conceptos básicos de ecología 16
1.2.2. Estrategias de reproducción K y r 17
1.2.3 Las sucesiones ecológicas 18
1.2.4. Los factores ecológicos 19
1.3. La visión agroecológica de la agricultura 21
1.3.1. Tipos de agroecosistemas 22
1.3.2. Diseño y planificación de agroecosistemas 23
1.4. Evolución en las formas de producción agraria 24
1.5. La agricultura en España 26
1.5.1. Principales sistemas agrarios 26
1.5.2. Características de los cultivos más importantes 28
Resumen 33
Supuesto práctico 33
Actividades de autoevaluación 33

2. EL CLIMA Y LOS CULTIVOS 35

Objetivos 35

Mapa conceptual 36
Glosario 37
2.1. Introducción 37
2.2. Influencia de la radiación solar sobre los cultivos 38
2.2.1. Fotosíntesis 39
2.2.2. Fotomorfogénesis 40
2.2.3. Fotoperiodismo 40
2.2.4. Fototropismo y nictinastia 42
2.3. Influencia de la temperatura sobre los cultivos 43
2.3.1. Temperaturas críticas 43
2.3.2. Necesidades de calor: integral térmica 44
2.3.3. Necesidades de frío: vernalización 45
2.3.4. Daños por altas temperaturas 47
2.3.5. Daños por bajas temperaturas. Heladas 48
2.4. Efectos del viento sobre los cultivos 50
2.4.1. Presión atmosférica y viento 50
2.4.2. Efectos del viento sobre los cultivos 52
2.5. Influencia de las precipitaciones y de la humedad en los cultivos 53
2.5.1. Humedad del aire 53
2.5.2. Formas de precipitación 54
2.5.3. Tipos de precipitación según sus causas 54
2.5.4. Daños por exceso de humedad en los cultivos 55
2.6. Medida del clima 56
2.7. Protección climática y forzado de cultivos 58
2.7.1. Métodos de protección de cultivos contra heladas 59
2.7.2. Protección contra el exceso de radiación 60
2.7.3. Protección contra el viento 61
2.7.4. Protección contra el granizo 63
2.8. Clasificaciones climáticas en agricultura 63
2.8.1. Regiones agroclimáticas de España 64
2.8.2. Diagramas ombrotérmicos de Gaussen 65
Resumen 66
Supuesto práctico 67
Actividades de autoevaluación 67

3. EL SUELO AGRÍCOLA 69

Objetivos 69
Glosario 70
Mapa conceptual 70
3.1. Introducción 71
3.1.1. El perfil del suelo y sus horizontes 72
3.1.2. Componentes del suelo 73
3.2. Propiedades físicas del suelo 73
3.2.1. Textura 73
3.2.2. Estructura del suelo 76
3.2.3. La materia orgánica en el suelo 77
3.2.4. El agua en el suelo 79
3.3. Propiedades químicas del suelo 82
3.3.1. La solución del suelo 82
3.3.2. El pH del suelo 83

3.3.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) 84
3.3.4. Salinidad 85
3.4. Propiedades biológicas del suelo 87
3.5. Propiedades agronómicas del suelo 88
3.5.1. Profundidad efectiva 88
3.5.2. Fertilidad 89
3.5.3. Permeabilidad 89
3.5.4. Pedregosidad 91
3.6. Estudio de las características de un suelo de cultivo 92
3.6.1. Tipos y objetivos de los análisis de suelos 92
3.6.2. Observación de las características en campo 93
3.6.3. Toma de muestras de suelo 95
3.6.4. Análisis básico de suelos 95
Resumen 100
Supuesto práctico 101
Actividades de autoevaluación 102

4. EL MANEJO DE LA NUTRICIÓN MINERAL DE LOS CULTIVOS Y DE LA FERTILIDAD DEL SUELO 103

Objetivos 103
Glosario 104
Mapa conceptual 104
4.1. Introducción 105
4.1.1. Los nutrientes minerales de los cultivos 105
4.1.2. Los elementos nutritivos en la planta y en el suelo 106
4.2. La fertilidad del suelo 112
4.2.1. Bases de la fertilidad del suelo 112
4.2.2. Cuantificación de la fertilidad química del suelo. Interpretación del análisis de suelos 113
4.3. La práctica de la fertilización 116
4.3.1. Los fertilizantes 116
4.3.2. Las leyes de la fertilización 117
4.3.3. Formas de aplicación del abonado 118
4.4. Fertilización mineral 119
4.4.1. Tipos y características de los fertilizantes minerales 120
4.4.2. Planificación y cálculo de la fertilización mineral 124
4.5. Fertilización orgánica 127
4.5.1. Tipos de fertilizantes orgánicos 128
4.5.2. Cálculo de la fertilización orgánica 128
4.5.3. Abonado en verde 130
4.5.4. Aplicación de abonos orgánicos 131
4.6. Bioestimulantes y biofertilizantes 133
4.7. Almacenaje, distribución y aplicación de abonos 133
Resumen 135
Supuesto práctico 135
Actividades de autoevaluación 135

5. NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS 137

Objetivos 137

Mapa conceptual ... 138
Glosario ... 139
5.1. Introducción ... 139
5.2. Procedencia del agua de riego ... 140
5.2.1. Aguas superficiales y subterráneas ... 140
5.2.2. Características de las aguas superficiales ... 141
5.2.3. Características de las aguas subterráneas ... 142
5.2.4. Aguas residuales y aguas de depuradora ... 142
5.3. Parámetros de calidad del agua de riego ... 144
5.3.1. Características físicas ... 145
5.3.2. Características químicas ... 145
5.3.3. Toma de muestras de agua para su análisis ... 152
5.4. Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos ... 155
5.4.1. Concepto de *evapotranspiración* ... 155
5.4.2. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc) ... 156
5.4.3. Cálculo de las necesidades totales de un cultivo ... 159
5.5. Tipos y sistemas de riego ... 163
Resumen ... 164
Supuesto práctico ... 165
Actividades de autoevaluación ... 166

6. PLANIFICACIÓN DEL MANEJO, MEJORA Y CONSERVACIÓN DE SUELOS DE CULTIVO ... 167

Objetivos ... 167
Mapa conceptual ... 168
Glosario ... 169
6.1. Introducción ... 169
6.1.1. Las superficies agrarias y su representación ... 169
6.1.2. Tecnologías SIG y GNSS en la representación de superficies agrarias ... 170
6.2. La degradación de suelos agrícolas ... 172
6.2.1. Erosión del suelo ... 173
6.3. Actuaciones sobre la pendiente del terreno ... 176
6.3.1. La pendiente del terreno ... 177
6.3.2. Abancalado de un terreno ... 179
6.3.3. Cultivo en terrazas ... 182
6.4. Drenajes y desagües ... 183
6.4.1. Trazado de la red de drenaje ... 183
6.5. Otras acciones para la conservación de suelos ... 184
6.6. El laboreo del suelo ... 186
6.6.1. Planificación del laboreo: programación y maquinaria ... 187
6.6.2. El laboreo de conservación ... 189
6.7. Manejo de la vegetación espontánea ... 190
6.8. Corrección y recuperación de suelos ... 191
6.8.1. Corrección de suelos ácidos ... 191
6.8.2. Rehabilitación de suelos salinos ... 194
Resumen ... 198
Actividades de autoevaluación ... 199
Supuesto práctico ... 199

7. IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO 201

Objetivos 201
Mapa conceptual 202
Glosario 203
7.1. Introducción 203
7.1.1. Necesidades de los cultivos herbáceos 204
7.1.2. Necesidades de los cultivos leñosos 209
7.2. Rotaciones y asociaciones de cultivos 213
7.2.1. Origen y necesidad de las rotaciones y asociaciones de cultivos 213
7.2.2. Rotaciones y alternativas 214
7.2.3. Diseño de una rotación 215
7.2.4. Representación gráfica de las rotaciones de cultivo 219
7.2.5. Asociaciones de cultivos o policultivos 219
7.2.6. Tipos de asociaciones de cultivos 221
7.3. Implantación del cultivo 222
7.3.1. Material vegetal, criterios de calidad y recepción. Acondicionamiento 222
7.3.2. Diseño del cultivo y preparación del terreno 225
7.3.3. Replanteo, siembra y plantación 226
7.3.4. Entutorados y espalderas 228
7.3.5. Labores en las primeras etapas del cultivo 230
7.4. Infraestructuras para el forzado de cultivos 231
7.4.1. Acolchados 231
7.4.2. Umbráculos 232
7.4.3. Túneles 232
7.4.4. Invernaderos 233
Resumen 235
Supuesto práctico 235
Actividades de autoevaluación 236

8. TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN EN AGRICULTURA ECOLÓGICA 237

Objetivos 237
Glosario 238
Mapa conceptual 238
8.1. Introducción 239
8.1.1. Definición 239
8.1.2. Técnicas de producción en agricultura ecológica 240
8.2. Manejo ecológico del suelo 242
8.3. Infraestructuras ecológicas 243
8.3.1. Setos ecológicos 243
8.3.2. Estanques, embalses y charcas 245
8.3.3. Refugios y cajas nido 246
8.4. Transformación de fincas de producción convencional a ecológica 246
8.5. Proceso de certificación ecológica 248
8.5.1. Normativa 248
8.5.2. Certificación ecológica 250
8.6. El mercado de la producción ecológica y su futuro 253
Resumen 253
Supuesto práctico 253
Actividades de autoevaluación 254

9. EL PROYECTO AGRÍCOLA SOSTENIBLE 255

Objetivos 255
Mapa conceptual 256
Glosario 257
9.1. Introducción 257
9.1.1. Justificación, fases y objetivos de un proyecto 258
9.1.2. Documentos que componen un proyecto técnico 258
9.1.3. Diseño integral del proyecto agrícola 262
9.2. Preparación del terreno: limpieza y nivelación 264
9.2.1. Limpieza, despeje y desbroce 264
9.2.2. Nivelación 265
9.3. Infraestructuras básicas de la finca agraria 266
9.3.1. Soleras 266
9.3.2. Cimentaciones y anclajes 267
9.3.3. Caminos 269
9.3.4. Vallados, cerramientos y muros 270
9.3.5. Recomendaciones ambientales en la construcción de infraestructuras agrarias 272
9.4. Electrificación rural 272
9.4.1 Instalaciones eléctricas de baja tensión 272
9.4.2. Necesidades de electrificación agraria 273
9.4.3. Energías renovables 274
9.5. Planificación y programación temporal 275
9.6. Prevención de riesgos laborales en la planificación y ejecución de infraestructuras agrícolas 277
9.7. Viabilidad económica de un proyecto agrícola 279
9.7.1. Estudios de viabilidad económica 280
9.7.2. Previsión de ingresos y gastos en una finca agraria. Umbral de rentabilidad 281
9.7.3. Ayudas agrarias 282
Resumen 285
Supuesto práctico 285
Actividades de autoevaluación 285

BIBLIOGRAFÍA 287

Presentación

La presente obra desarrolla los contenidos propios del módulo *Planificación de cultivos,* que se encuadra en el segundo curso del ciclo formativo de Grado Superior de Técnico Superior en Paisajismo y Medio Rural, correspondiente a la familia profesional Agraria.

Este módulo tiene una duración de 180 horas, de las 2000 que suponen el total del ciclo formativo. Los contenidos se han elaborado de acuerdo a la siguiente normativa:

- El Real Decreto 259/2011, de 28 de febrero, por el que se establece el mencionado título y sus enseñanzas mínimas.
- El correspondiente currículo del ciclo, establecido en la Orden EDU/1545/2011, de 9 de junio.

Los contenidos del módulo *Planificación de cultivos* contribuyen a adquirir la competencia general del título, que consiste en desarrollar proyectos de jardines y zonas verdes y gestionar la producción de plantas y la producción agrícola, supervisando los trabajos, programando y organizando los recursos materiales y humanos disponibles, aplicando criterios de rentabilidad económica y cumpliendo con la normativa ambiental, de producción ecológica, de producción en vivero, de control de calidad, de seguridad alimentaria y de prevención de riesgos laborales.

Al margen del cumplimiento de los requerimientos académicos, el presente libro pretende ser una guía útil para cualquier estudiante o profesional interesado en la planificación de cultivos de una finca agraria, integrando aspectos científicos, tecnológicos y organizativos y relacionándolos con la realidad socioeconómica y las características geográficas, socioproductivas y laborales propias del entorno, y siempre teniendo en cuenta el punto de vista necesario de la agroecología.

En el primero de los nueve capítulos de este libro se describe el pasado y presente de la agricultura, sus cultivos y sistemas de producción principales en el territorio español, y se establecen las bases de la agricultura del futuro, que debe ser, necesariamente, sostenible, y que debe

tener en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas, en general, y de los agroecosistemas, en particular.

En el capítulo 2 se analizan los agentes climáticos y su influencia en los cultivos, así como las técnicas de modificación de los mismos con el objetivo de proteger a los cultivos de condiciones climáticas adversas. La comprensión del suelo como el medio vivo y dinámico en el que se desarrollan los cultivos y del que depende su fertilidad, en su sentido amplio, es el objetivo del capítulo 3. En el siguiente capítulo se aprende a evaluar la fertilidad del suelo, o su capacidad para mantener los niveles nutricionales de los cultivos, y a mejorarla a través de aportes orgánicos e inorgánicos, de una manera respetuosa con el medioambiente. En el capítulo 5 se explican cuáles son las necesidades hídricas y cómo deben planificarse los aportes de agua a los cultivos a partir del análisis de datos edafoclimáticos. El capítulo 6 incide en la importancia y en la fragilidad del suelo, y en él se explican diferentes tecnologías de conservación, mejora y rehabilitación para poder utilizarlo como suelo agrícola. El capítulo 7 se ocupa de las acciones necesarias para la implantación de los cultivos, empezando por su selección en función de las necesidades agroclimáticas, y continuando con las labores en torno a la siembra y la plantación, para terminar con la descripción de las instalaciones para el forzado de cultivos, con especial incidencia en el control climático de invernaderos.

El capítulo 8 se dedica a las prácticas propias de la agricultura ecológica. En él se desarrollan algunas prácticas e instalaciones específicas que se llevan a cabo en este tipo de agricultura. Se habla del proceso de transformación de fincas convencionales a ecológicas y se describe el mercado de productos obtenidos mediante este sistema de producción como una oportunidad firme del sector agrario, presente y futura.

Finalmente, en el capítulo 9 se describen las fases, documentos y contenidos de un proyecto de una finca agraria sostenible; se sintetizan las principales infraestructuras que forman parte de ella, y se explica la planificación de las obras de ejecución, la organización del trabajo y la evaluación económica de un proyecto, teniendo en cuenta las ayudas y subvenciones de la PAC y los criterios de condicionalidad ambiental necesarios para recibirlas.

En todos los sectores profesionales, pero especialmente en el sector agrícola, es muy importante atender a los criterios de seguridad laboral y ambiental de los trabajos. Los contenidos de este libro atienden a criterios fundamentales de seguridad y salud y a la prevención de riesgos, así como a los impactos ambientales de las acciones planteadas y cómo evitarlos o minimizarlos.

En la página web de la editorial (www.sintesis.com) se incluyen varios recursos adicionales para el libro. Estos contenidos están especificados en recuadros llamados Recurso electrónico dentro del libro.

Además de contar con la colaboración de Verónica García Gil, Alberto Llopis García y Alejandro Pérez Ferrer, los contenidos de esta obra han sido parcialmente revisados por profesionales especialistas como Rosa García Ortega, Alicia Vilanova Hernández y Roberto Martín Villanueva. Asimismo, la obra contiene imágenes cedidas por Verónica García Gil, Luz Cocina Romero, Ardiel Araña Rodríguez, Carlos Colomer Prades, Ana Isabel Pérez Ferrer, Francisco Javier Monfort Arjona, Luis Mario García Díaz, Diego Pérez Navarro, Rocío Díaz González y Nacho Igualada Albiñana, así como del proyecto Olivares Vivos de SEO/Birdlife. A todos ellos expresamos nuestro agradecimiento por sus aportaciones.

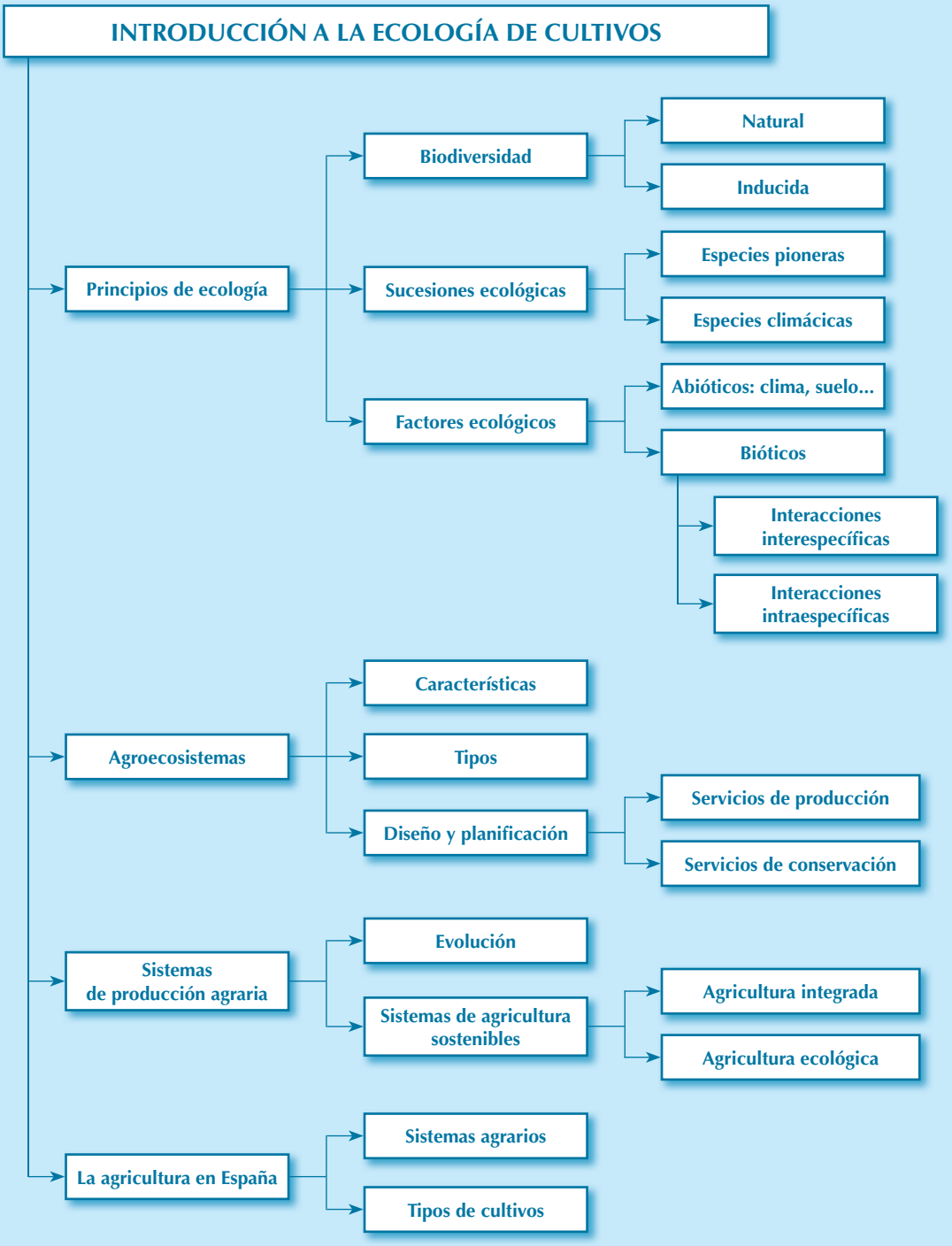
1

Introducción a la ecología de los cultivos

Objetivos

- ✓ Reflexionar sobre los principios básicos de sostenibilidad en la producción de cultivos.
- ✓ Relacionar las funciones ecológicas de los diferentes componentes de un ecosistema agrario con su estabilidad.
- ✓ Conocer los diferentes tipos de agroecosistemas más frecuentes y sus características principales.
- ✓ Identificar las principales especies de cultivo en España.

Mapa conceptual



Glosario

Biodiversidad agrícola. Diversidad de vida en los diferentes niveles de organización biológica dentro del agroecosistema; también es la diversidad de agroecosistemas de una región.

Desarrollo sostenible. Aquel que consigue satisfacer las necesidades y aspiraciones presentes sin disminuir con ello la integridad del mundo natural ni las oportunidades de las generaciones futuras.

Erosión genética. Pérdida de los recursos genéticos y de los conocimientos asociados a ellos, es decir, de las especies o de los cultivos obtenidos a lo largo de la evolución o por la selección del ser humano. La erosión genética reduce las opciones de utilización de información genética útil para responder a enfermedades, cambios ambientales o necesidades de mercado.

FAO. De las siglas en inglés, *Food and Agriculture Organization*. Organización para la Alimentación y la Agricultura. Es una agencia de las Naciones Unidas integrada por más de 194 estados miembros que lidera investigaciones relacionadas con la agricultura y con el uso de los recursos naturales asociados a ella.

Insumos. Materias primas que se utilizan para realizar determinados procesos o para obtener determinados productos.

Resiliencia. Capacidad de un sistema para resistir cambios internos o externos y volver a su estado original.

Seguridad alimentaria. Concepto que hace alusión al hecho de que todas las personas tengan acceso en todo momento a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para cubrir sus necesidades nutricionales y las preferencias culturales para una vida sana y activa (FAO).

Soberanía alimentaria. Derecho de los pueblos a disponer de alimentos, pero también a definir su política agraria de acuerdo a objetivos de desarrollo sostenible y seguridad alimentaria, y a mantener el control de los procesos productivos y de los insumos. Es la facultad de cada pueblo para definir sus propias políticas agrarias y alimentarias.

1.1. Introducción

Los grandes avances tecnológicos que han tenido lugar en la agricultura en el último siglo han cambiado completamente las formas de producción, pasando de una agricultura tradicional a una agricultura industrializada. Ello ha permitido aumentar enormemente las producciones y el rendimiento económico.

Sin embargo, los sistemas agrarios más extendidos en la actualidad tienen importantes efectos negativos en el medioambiente, siendo actualmente las principales fuentes de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas. Por ello, los métodos convencionales de producción agraria comprometen su propio futuro, ya que tienen como consecuencia la degradación de la tierra, la salinización, el exceso de extracción de agua y la reducción de la diversidad genética,

así como la generación y la acumulación de residuos difícilmente asimilables. A nivel social, los problemas derivados son el riesgo de pérdida de soberanía y seguridad alimentaria.

RECURSO WWW

En el vídeo disponible en el código QR adjunto puedes encontrar algunos ejemplos que se están investigando en la Universidad Pública de Navarra para promover el uso más sostenible de recursos en la agricultura.

RECURSO ELECTRÓNICO 1.1

En el anexo web 1.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre la superficie de los principales cultivos en España.

Actividad propuesta 1.1

Busca en Internet asociaciones relacionadas con la defensa de la soberanía alimentaria y debate con tus compañeros las ideas y las soluciones que proponen a los problemas que se derivan de la globalización en la producción agrícola y de la pérdida de los agricultores del control de los recursos y los procesos productivos.

1.2. Principios de ecología

Conocer los principios básicos que rigen los ecosistemas e identificarlos en los sistemas agrarios es la clave para poder desarrollar una agricultura sostenible.

1.2.1. Conceptos básicos de ecología

Alguno de los conceptos básicos que se han de tener en cuenta son los siguientes:

a) La *ecología*. Etimológicamente, este concepto proviene de la unión de los términos *eco* (casa) y *logos* (estudio). Es el estudio de las interrelaciones entre los organismos y su ambiente.

b) El *ecosistema* es la unidad fundamental de la ecología. Cada ecosistema se caracteriza por una estructura, un flujo de materia y un flujo de energía. Un ecosistema está compuesto por dos partes: la *biocenosis* (conjunto de organismos) y el *biotopo* (medio físico).

c) Una *población* es un conjunto de individuos de una misma especie, mientras que una *comunidad* es un conjunto de diferentes poblaciones.

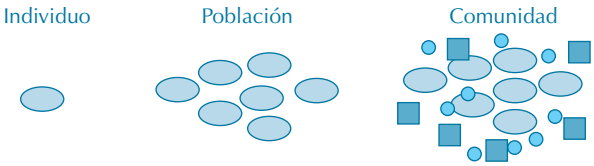


Figura 1.1
Niveles de organización de los ecosistemas.

d) El *hábitat* de un organismo es el lugar donde vive (equivale a su *dirección*), mientras que su *nicho ecológico* es el papel de dicho organismo en el ecosistema (su *profesión*).

e) La *biodiversidad* o diversidad biológica es la variedad intra- e interespecífica de los organismos que se encuentra en un espacio determinado. También hace referencia a la riqueza de las especies a la hora de cubrir las funciones de cada nicho ecológico. Este concepto, por tanto, analiza tanto la *composición* como la *estructura* y la *función* de los organismos presentes en un espacio determinado:

- La *composición* es la identidad y variedad de los elementos. Incluye qué especies están presentes de plantas, animales, hongos, microorganismos, etc., y cuántos individuos hay. La unidad fundamental de la biodiversidad es la especie, si bien también se considera la variabilidad genética dentro de una misma especie (presencia de razas o variedades, subespecies, etc.).
- La *estructura* es la organización física del sistema. Incluye el estudio de la abundancia relativa de las especies y de los ecosistemas, grado de conectividad, etc.
- La *función* son los procesos ecológicos y evolutivos que se dan entre los organismos presentes, incluyendo las relaciones intra- e interespecíficas.

La estabilidad en un ecosistema viene determinada por las interconexiones que se establecen entre los organismos, lo que está íntimamente relacionado con su biodiversidad.

1.2.2. Estrategias de reproducción K y r

Las especies que forman parte de un ecosistema pueden clasificarse según el tipo de estrategia de reproducción o supervivencia que aplican en función de las características de los ambientes en que se desarrollan. Así, las *especies estrategas de la K* tienen baja tasa de reproducción y su población fluctúa en torno a un valor constante o K. Son especies de ambientes estables, de ecosistemas con cierta madurez ecológica. Las *especies estrategas de la r,* por el contrario, en condiciones óptimas tienen un crecimiento exponencial de su población. Su tasa de natalidad y de mortalidad es muy alta. Son las llamadas *especies oportunistas o pioneras.* Debido a la inestabilidad del hábitat, tienden a ser especies migratorias.

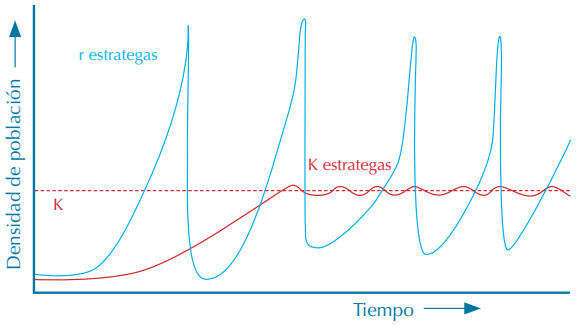


Figura 1.2
Evolución en el tiempo de la densidad de población en especies estrategas de la K (rojo) y estrategas de la r (azul).

Las estrategias reproductivas K y r se refieren a tendencias en la evolución de la población de las especies, y son términos relativos. Por ejemplo, un pino como el *Pinus halepensis* es más estratega de la r que una carrasca (*Quercus ilex*), pero es más estratega de la K que una chumbera (*Opuntia ficus-indica*). De la misma manera, una misma especie puede cambiar su estrategia de K a r o a la inversa en función de las condiciones ambientales. Así, por ejemplo, los áfidos (pulgones) pueden reproducirse rápidamente mediante partenogénesis (un tipo de reproducción asexual), adoptando una estrategia r cuando las condiciones son favorables y hay abundancia de alimento (primavera y verano). Al final del verano y durante el otoño, estos insectos se reproducen sexualmente, obteniendo menos descendientes pero más fuertes y con más posibilidades de sobrevivir a las condiciones limitantes que se dan en otoño e invierno.

RECURSO ELECTRÓNICO 1.2

En el anexo web 1.2, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás más información sobre las características de las especies con estrategia K y r.

1.2.3 Las sucesiones ecológicas

Los ecosistemas cambian a lo largo del tiempo. Además, son capaces de mantener y aumentar su organización, reajustándose y adaptándose a cualquier tipo de variación. La *sucesión ecológica* hace referencia a los procesos dinámicos que se dan en los ecosistemas, resultantes de la interacción de los factores bióticos y abióticos en el tiempo, y que consisten en la sustitución natural de unas comunidades por otras.

Del ecosistema que está en el punto máximo de su equilibrio y que ha conseguido su mayor grado de estabilidad y madurez se dice que ha llegado a su *clímax*, y la comunidad (o comunidades) que vive en esta etapa es denominada *comunidad clímax*.

Se consideran dos tipos de sucesiones, según se dirijan hacia el clímax *(sucesiones progresivas)* o se alejen del mismo *(sucesiones regresivas)*.

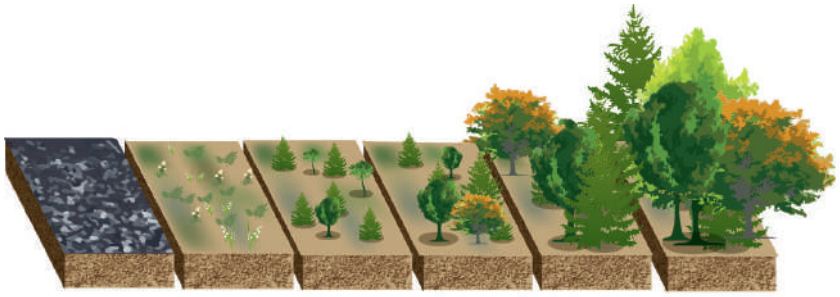


Figura 1.3
Sustitución de comunidades vegetales en una sucesión ecológica progresiva (hacia a derecha) o una sucesión regresiva (hacia la izquierda).

A medida que avanza una sucesión progresiva, se observan una serie de tendencias en los ecosistemas, que van aumentando su estabilidad y su resiliencia:

a) *Aumento progresivo de la biomasa.*
b) *Aumento de la producción primaria:* en la pirámide de intercambio de energía, los productores primarios (autótrofos) son los que más proliferan.
c) *Aumento de la biodiversidad:* tanto en riqueza de especies como en diversidad dentro de las mismas. Las especies r estrategas tienden a ser sustituidas por las K estrategas.
d) *Aumento de los nichos ecológicos:* hay un mayor aprovechamiento de la materia y de la energía, y el ecosistema se vuelve más complejo.
e) *Hay más especies que se ocupan de una misma función:* un nicho ecológico es cubierto por muchas especies, lo que es más seguro para el ecosistema.
f) *Se establecen más relaciones inter e intraespecíficas*, con múltiples retroalimentaciones.

1.2.4. Los factores ecológicos

Un *factor ecológico* es un elemento del medio que actúa directamente sobre un ser vivo. En un ecosistema hay *factores abióticos* (que forman parte del *biotopo*) y *factores bióticos* (que constituyen la *biocenosis*).

A) Factores abióticos

Los factores abióticos de un ecosistema se conocen como *biotopo* y son principalmente el clima, el suelo, el agua disponible y otros aspectos como el relieve o el fuego. A su vez, estos factores abióticos pueden ser considerados como *recursos* (factores que son consumidos directamente por los organismos, como el agua o los nutrientes) o *reguladores* (factores que determinan la velocidad de consumo de los anteriores como, por ejemplo, la temperatura).

B) Factores bióticos

Los factores bióticos de un ecosistema son el conjunto de seres vivos que en él habitan y se relacionan entre sí, dando lugar a la *biocenosis.* Hay tres grandes grupos de seres vivos en un ecosistema:

1. *Organismos productores:* son los organismos autótrofos, principalmente fotosintéticos.
2. *Organismos consumidores:* primarios (herbívoros) o secundarios (carnívoros).
3. *Organismos descomponedores o detritívoros:* se alimentan de materia orgánica en descomposición, generada por los anteriores.

Entre los distintos individuos de un ecosistema se dan tanto coacciones o *interacciones intraespecíficas* (entre individuos de una misma especie) como *interespecíficas* (entre individuos de especies diferentes). Las principales interacciones son la competencia, el parasitismo, la depredación, el mutualismo, el comensalismo y la antibiosis. En los agroecosistemas son especialmente importantes las siguientes relaciones entre organismos:

a) *Mutualismo:* las especies implicadas obtienen beneficios mutuos. La simbiosis es un tipo de mutualismo en el que hay contacto íntimo y continuo entre los organismos implicados. Son ejemplos de simbiosis:

- *Líquenes*: asociación entre un hongo y un alga.
- *Nódulos de bacterias nitrificantes:* las bacterias del género *Rhizobium* se asocian con las raíces de algunas plantas (sobre todo, leguminosas) formando nódulos. Esta asociación tiene como resultado la captación de nitrógeno atmosférico por parte de las bacterias, que la planta utiliza para su metabolismo. A cambio, las bacterias obtienen cobijo y nutrientes.
- *Micorrizas:* simbiosis entre un hongo y las raíces de una planta. El hongo se beneficia de los carbohidratos resultantes de la fotosíntesis de la planta (savia elaborada) y la planta mejora su absorción de agua y nutrientes y su resistencia a enfermedades. La mayoría de las especies vegetales establecen este tipo de simbiosis.

b) *Antibiosis o antagonismo:* en este caso, un organismo libera sustancias que impiden el normal desarrollo del otro. Es un mecanismo que tiene como objetivo disponer de un mínimo espacio vital para el desarrollo de un individuo. Muchas plantas utilizan este mecanismo, mediante el fenómeno conocido como *alelopatía*. (Por ejemplo: *Eucalyptus* spp., *Melia azedarach*, *Carpobrotus* spp.).

Figuras 1.4
a) Liquen sobre una rama de conífera (Bordón, Y.); *b)* Nódulo de *Rhizobium* en raíz de leguminosa (Whitinger, D.); *c)* Raíces de *Quercus ilex* micorrizadas con *Tuber melanosporum* (Cocina, L.).

SABÍAS QUE...?

La *alelopatía* es un término que incluye los efectos que ejerce de una planta sobre otra, de la misma o de diferente especie, a través de compuestos químicos (sustancias alelopáticas o aleloquímicos) liberadas. Las sustancias alelopáticas pueden liberarse al medio por lixiviación, volatilización, exudación de las raíces o descomposición de residuos. Y, como resultado, mediante este mecanismo una planta puede favorecer o perjudicar, o incluso impedir, la germinación, el crecimiento o el desarrollo de otras plantas en su entorno.

En los sistemas intensivos y monocultivos la acumulación de sustancias alelopáticas tiene como consecuencia problemas de toxicidad o fatiga del suelo, lo que afecta negativamente al desarrollo del cultivo y a la productividad. Algunos de los cultivos que muestran autotoxicidad son el arroz, el trigo, el maíz, la caña de azúcar, la alfalfa, y hortícolas como el calabacín, la zanahoria, la sandía, la berenjena, el tomate y el guisante, entre otros.

De la misma manera, las especies que producen alelopatías, bien manejadas, pueden ser utilizadas para el control de la vegetación arvense, además de que aportan biomasa, diversidad y equilibrio al agroecosistema.

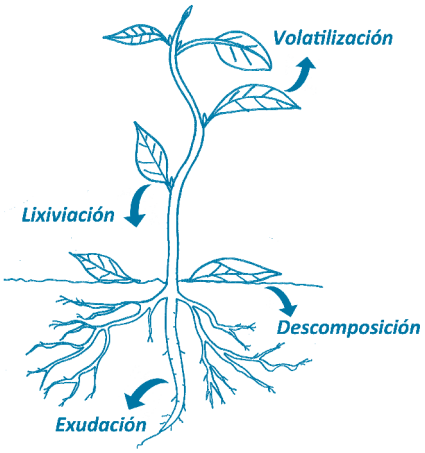


Figura 1.5
Principales mecanismos de liberación de sustancias aleloquímicas.

Actividad propuesta 1.2

Indica un ejemplo, en cada uno de los siguientes tipos de relaciones entre organismos, en los que participen especies de cultivo.

a) Simbiosis.
b) Alelopatía.
c) Competencia interespecífica.
d) Depredación.
e) Parasitismo.

1.3. La visión agroecológica de la agricultura

La *agroecología* es una ciencia o disciplina que analiza la gestión y el manejo de los sistemas agrarios con el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas y los conocimientos tradicionales locales. Contempla, por tanto, los procesos agrarios con una visión global e integradora. Y, bajo una perspectiva ecológica, considera los problemas sociales, económicos y políticos como elementos que acaban configurando los sistemas agrarios. La agroecología tiene como unidad de análisis al *agroecosistema*, entendiendo como tal a un ecosistema creado por el ser humano con el objetivo de obtener una producción agrícola o ganadera. Centra su atención en promover la biodiversidad, fortalecer y ampliar las interacciones y las sinergias entre los organismos y, en definitiva, promover

los procesos ecológicos que favorecen la estabilidad y la productividad sostenible de la actividad agraria, provocando el menor impacto posible en el entorno, tanto ambiental como social.

En otras palabras, la agroecología busca el desarrollo de agroecosistemas resilientes y no dependientes de aportes de insumos externos y energía, en los que los organismos implicados en el medio provean la fertilidad de su propio suelo, potencien la productividad del sistema y ayuden en la protección de los cultivos.

Los principios fundamentales de la agroecología pueden resumirse en los siguientes puntos:

a) *Optimizar el uso de insumos localmente disponibles*: mediante la combinación de los diferentes componentes del sistema de finca, por ejemplo, plantas, animales, suelo, agua, clima y personas, de tal manera que se complementen los unos a los otros y se den los mayores efectos sinérgicos posibles.
b) *Reducir el uso de insumos externos y los no renovables*: dado su gran potencial de daño al ambiente y a la salud de productores y consumidores, reemplazando los insumos externos por el reciclaje de nutrientes, una mejor conservación y un uso eficiente de insumos locales.
c) *Adecuar el diseño de cultivo al potencial productivo y a los limitantes ambientales de clima y el paisaje*: para asegurar la sostenibilidad en el largo plazo de los niveles de producción y de los recursos.
d) *Valorar, potenciar y conservar la biodiversidad:* haciendo un uso óptimo del potencial biológico y genético de los seres vivos presentes dentro y alrededor del agroecosistema (animales, plantas, hongos, bacterias, etc.).
e) *Aprovechar el conocimiento y las prácticas tradicionales:* así como los conocimientos etnobotánicos sobre el manejo de los recursos disponibles.

RECURSO ELECTRÓNICO 1.3

En el anexo web 1.3, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre las características ecológicas de los agroecosistemas.

1.3.1. Tipos de agroecosistemas

Los agroecosistemas creados pueden clasificarse en función del nivel de intensidad de uso de sus principales recursos: recursos vegetales y animales, el suelo, el agua, el capital económico y la mano de obra. Bajo este punto de vista, se encuentran:

a) *Sistemas de producción agraria extensiva:* grandes superficies dedicadas, generalmente, a un mismo cultivo. Los sistemas tradicionales extensivos son principalmente de secano; la inversión por unidad de superficie es baja. En las fincas más tradicionales se utilizan técnicas como el barbecho, lo que conduce a la obtención de bajos rendimientos. En las explotaciones extensivas modernas, el nivel de tecnificación y mecanización es muy elevado y la productividad es mayor, lo que minimiza la mano de obra. Se trata de cultivos como los cereales, el girasol, el algodón, la soja, etc. Son sistemas en los que el riesgo de pérdida de suelo es alto, sobre todo en aquellos en los que el suelo se deja desnudo y se utilizan herbicidas de forma sistemática. La transformación en regadío de estas grandes superficies, así

como la aplicación de rotaciones o de policultivos hace que estos sistemas sean más bien considerados como *semiextensivos.*

Figura 1.6
Cultivo intensivo de tomate.
Fuente: Cervantes, M. A., en www.fitosofia.blogspot.com.

b) *Sistemas de producción agraria intensiva:* se desarrollan en superficies menores que las anteriores. Se caracterizan por la elevada inversión de capital y el elevado rendimiento por unidad de superficie. Es habitual el uso de técnicas de modificación del clima (invernaderos, túneles, etc.), que permiten la obtención de cosechas fuera de temporada. Son sistemas en los que los riesgos de contaminación de los suelos, aguas subterráneas y entorno, en general, son más altos. Además, suelen tener una alta dependencia tecnológica y un requerimiento muy elevado de insumos.

1.3.2. Diseño y planificación de agroecosistemas

Los agroecosistemas ofrecen *servicios de abastecimiento o producción* de alimentos, fibras, energía y otros, y también producen *servicios de regulación o conservación,* ya que contribuyen al mantenimiento y mejora de la calidad del aire, de los recursos hídricos y del suelo, del paisaje, de la biodiversidad, de los valores culturales, del patrimonio, etc. Obviamente, en los sistemas agrícolas tienden a prevalecer los servicios de abastecimiento. Sin embargo, la planificación y la gestión agroecológica deben buscar un equilibrio entre conservación y producción.

El objetivo último del *diseño agroecológico* es mantener la capacidad productiva y autosuficiente del agroecosistema aumentando su eficiencia biológica general. Esto se consigue a través de la integración de los componentes implicados, y del equilibrio entre producción y conservación.

En concreto, la planificación agroecológica debe tratar de:

a) *Aumentar las especies y variedades de plantas y la diversidad genética en el tiempo y el espacio:* a través de rotaciones, policultivos o asociaciones, creación de sistemas agroforestales, uso de setos, cubiertas vegetales, etc.

b) *Mejorar la biodiversidad funcional:* aprovechar efectos alelopáticos, favorecer la presencia de enemigos naturales, antagonistas, etc.
c) *Mejorar el nivel de la materia orgánica del suelo y su actividad biológica.*
d) *Optimizar el uso de agua para riego.*
e) *Reducir la pérdida de nutrientes del suelo:* disminuyendo la lixiviación (pérdidas por lavado) y la erosión.
f) *Eliminar o reducir los insumos tóxicos,* como los plaguicidas, *y los residuos,* agroquímicos, plásticos, etc.
g) *Producir alimentos de calidad.*

Actividad propuesta 1.3

Busca las diferencias entre los dos agroecosistemas creados en los cultivos siguientes, analizando cuál de los dos presenta un sistema de regulación interno, es decir, un equilibrio más fuerte, justificando la respuesta. Pon énfasis en el tipo de insumos que requerirá cada uno de los dos sistemas de cultivo:

a) Cultivo convencional de tomate híbrido bajo invernadero, con cultivo hidropónico.
b) Cultivo ecológico de tomate de variedad local, al aire libre, con riego a manta.

1.4. Evolución en las formas de producción agraria

El modelo de agricultura convencional que predomina hoy en día fue adoptado desde la década de los años cincuenta del siglo XX, cuando tuvo lugar la mal denominada *revolución verde*. Se conoce como tal a las innovaciones que tuvieron lugar en las técnicas agronómicas y que condujeron a un gran incremento en la productividad de los cultivos, que trataba de satisfacer la enorme demanda de alimentos consecuencia de la explosión de la población mundial. Estos cambios, que se adoptaron con mucha rapidez y de forma masiva, consistieron en el uso de semillas de variedades mejoradas, los monocultivos y la aplicación de grandes cantidades de insumos tales como el agua, los fertilizantes de síntesis y los plaguicidas.

RECURSO ELECTRÓNICO 1.4

En el anexo web 1.4, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás una breve historia de la agricultura.

Los aspectos negativos derivados de este tipo de agricultura son bastante evidentes: generación de residuos, problemas de almacenaje de excedentes, excesivo coste de las semillas y de la tecnología complementaria, dependencia tecnológica, erosión genética, aparición de nuevas plagas y, de forma muy importante, problemas de seguridad alimentaria. Como reacción a este tipo de agricultura, en el siglo XX surgieron la *agricultura ecológica y la agricultura integrada*.

Recuerda

a) La *agricultura integrada o producción integrada:* permite la utilización de productos agroquímicos de síntesis, buscando hacer un uso mínimo de los mismos, aplicando la lucha biológica y racionalizando el uso de plaguicidas. En el ámbito nacional, está regulada por el RD 1201/2002. No contempla el mantenimiento del suelo, ni busca la autogestión del sistema aumentando la biodiversidad, limitando su supuesta visión de sostenibilidad a la limitación de la contaminación química. Es, por tanto, la reacción lógica, aunque moderada, a los problemas generados por la agricultura química.

b) La *agricultura ecológica:* puede definirse como el compendio de técnicas agrarias que excluye normalmente el uso, en la agricultura y ganadería, de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, etc., con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales. Se encuentra regulada por el Reglamento (CE) 834/2007.

Las tendencias de la agricultura en el siglo xxi son el aumento en la tecnificación: uso de sistemas de información geográfica (SIG) y de navegación por satélite (GPS), así como el uso de material vegetal muy seleccionado y mejorado, la introducción de variedades transgénicas y la intensificación y la especialización de la producción.

Los retos que deberá afrontar la agricultura en el futuro son principalmente la *escasez de alimentos* en ciertas áreas del mundo, debida al aumento de la población, y los *problemas derivados del cambio climático* (aumento de la temperatura, elevación del nivel del mar, salinización del suelo de uso agrícola, desertización, escasez de agua, inundaciones, tormentas, etc.), que ya están provocando importantes movimientos migratorios. Se estima que en el año 2150 se desplazarán doscientos millones de personas de sus zonas de origen debido a los estragos del clima sobre la producción de alimentos.

El futuro de la agricultura debe ir ligado necesariamente al concepto de sostenibilidad. Para que la producción agraria sea sostenible, debe administrar los recursos que utiliza sin degradar el medio ambiente, garantizando la conservación del suelo y del agua y preservando la calidad del aire y de los recursos genéticos. Además, debe ser económicamente viable y socialmente aceptable y respetuosa.

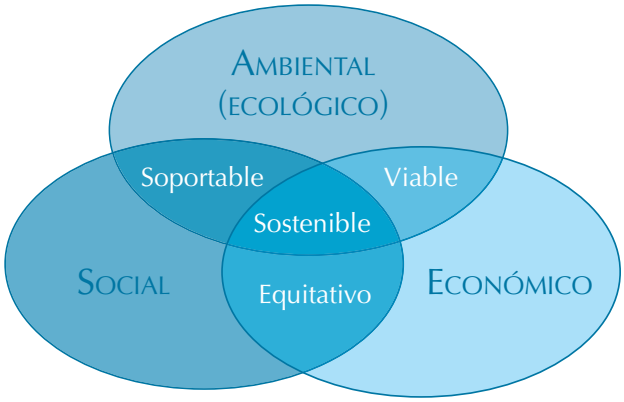


Figura 1.7
Principios básicos del desarrollo sostenible.

1.5. La agricultura en España

En España la agricultura es un sector estratégico de gran importancia económica, pero también social y medioambiental. El 33 % de la superficie del estado español corresponde a tierras de cultivo, mientras que el 16 % se destina a prados y pastos. La industria agroalimentaria española es el primer sector industrial del país. Las producciones agrarias tienen una gran diversidad y calidad a todo lo largo del territorio español debido a las especiales condiciones del clima, lo que ofrece ventajas competitivas frente a otros países. En términos de producción, destaca el sector de las frutas y hortalizas, seguido en importancia por los cereales, el aceite de oliva y las plantas forrajeras, pero también cabe mencionar las plantas ornamentales. España es el segundo país productor de frutas y hortalizas de la Unión Europea y el sexto a escala mundial, obteniéndose un gran número de productos diferentes. Es también el primer productor de aceite de oliva del mundo y el que tiene una mayor superficie dedicada a uva para vinificación. En cuanto a la producción ecológica, España ocupa el primer lugar en superficie de la Unión Europea y el quinto a escala mundial, con alrededor de dos millones de hectáreas.

Según datos del INE (Instituto Nacional de Estadística), la mayor parte de las explotaciones agrícolas españolas tienen menos de cinco hectáreas, mientras que las explotaciones de más de cien hectáreas son únicamente el 5 % del total. La actividad agrícola se lleva a cabo principalmente en tierras en propiedad, aunque el arrendamiento representa un 36 % en las explotaciones con superficies entre cincuenta y cien hectáreas. Más de la mitad de los responsables de las fincas agrarias son mayores de 55 años, mientras los menores de 35 años suponen un 5 %.Y solo uno de cada cinco responsables de fincas agrarias es una mujer.

1.5.1. Principales sistemas agrarios

La agricultura actual en el territorio español puede agruparse en los sistemas de producción que se ven a continuación.

A) Cultivos de secano

1. *Sistemas herbáceos:*

   - Fundamentalmente cereales de invierno como trigo y cebada (esta última en zonas de menor pluviometría).
   - En zonas de baja pluviometría y suelos marginales (poco fértiles y poco profundos).
   - Se practica comúnmente el barbecho: el cereal se cultiva un año de cada dos.
   - Tradicionalmente se alternaba el cereal con una leguminosa, pero debido al bajo rendimiento de esta, actualmente se está alternando con el girasol.

2. *Sistemas leñosos:*

   - Vid, olivo y almendro.

3. *Sistemas de aprovechamiento múltiple en las dehesas:*

   – Encina o alcornoque, junto con pastos o cultivos anuales que se desarrollan entre árboles, que son aprovechados por el ganado, a la vez que producen otros materiales útiles.

B) Cultivos de regadío

1. *Sistemas herbáceos extensivos:*

   – Maíz (regadíos del centro y del valle del Ebro).
   – Remolacha (Andalucía y Castilla y León).
   – Girasol (muy disperso).
   – Algodón (Andalucía).
   – Alfalfa (valle del Ebro).
   – Arroz (desembocadura del Guadalquivir, Extremadura, delta del Ebro y Albufera de Valencia).
   – Hortícolas como la patata, melón o ajo (en distintas zonas de regadío tradicional).

Figura 1.8
Imagen por satélite del Campo de Dalías (Almería) que muestra la superficie cubierta de invernaderos.
Fuente: NASA.

2. *Sistemas herbáceos intensivos:*

   – Hortícolas en cultivo forzado, bajo estructuras cubiertas de plástico tales como invernaderos para la producción de tomate, pimiento, judía verde, berenjena, etc., o túneles para la producción de fresa.

3. *Sistemas leñosos de regadío:*

   – Cítricos en el este y sur de la península.
   – Frutales no cítricos que se cultivan de forma intensiva en los principales valles del país, siendo el melocotonero, el peral y el manzano las especies más importantes, dentro de la gran diversidad de especies leñosas cultivadas.

1.5.2. Características de los cultivos más importantes

La superficie agraria en España alcanza los 30 millones de hectáreas. A continuación se describen las especies de cultivo más importantes.

A) Cereales

Constituyen los cultivos herbáceos más importantes en España. Son especies anuales que botánicamente pertenecen al grupo de las monocotiledóneas, concretamente a la familia *Poaceae* (gramíneas). Son plantas hermafroditas (excepto el maíz), presentan fertilización cruzada (alógamas) y se polinizan por el viento (anemófilas).

1. *Cereales de invierno:* en general, se utilizan variedades de cereal de ciclo largo, es decir, que se siembran en otoño y reciben el frío invernal durante su reposo vegetativo, lo cual es un estimulante de la floración. En su mayoría se cultivan en sistemas extensivos, en secano.

   Son el *trigo* (*Triticum aestivum, T. durum*) y la *cebada (Hordeum vulgare)* y, en menor medida, la *avena* (*Avena sativa*) y el *centeno* (*Secale cereale*). Se cultivan en la meseta central ibérica, las depresiones del Ebro y del Guadalquivir y las zonas del litoral mediterráneo donde no llega el riego. La inflorescencia del trigo, la cebada y el centeno es una espiga, mientras que la de la avena es una panícula.

SABÍAS QUE...?

En el cultivo extensivo de cereal se practica el sistema de *barbecho* (o año y vez) que consiste en dejar descansar la tierra (que se labra pero no se cultiva), en años alternos con el cereal. Esta técnica del barbecho era, hace años, una necesidad por la escasa o nula utilización de fertilizantes naturales o químicos, pero en la actualidad se practica cada vez menos.

2. *Cereales de primavera:* se cultivan como cultivos extensivos de regadío.

   El *maíz* (*Zea mays*) se cultiva en el regadío de las zonas cerealistas (sobre todo en León), así como en la España atlántica como cultivo de secano. Es una especie monoica. La inflorescencia masculina es una panícula y la femenina es un espádice (panoja).

   El *arroz (Oryza sativa)* es muy exigente en agua. Su área de cultivo se limita a las zonas bajas y de fácil encharcamiento del litoral valenciano, delta del Ebro (Tarragona), marismas del Guadalquivir (Sevilla) y vega del Guadiana (Badajoz). La inflorescencia es una panícula.

B) Hortalizas

Casi el 80 % de las hortalizas se cultivan en regadío, con una clara especialización territorial: espárragos en Navarra y La Rioja; melón en Ciudad Real y Toledo; tomate en Murcia, Badajoz y Almería; ajo en Cuenca; cebolla y judía verde en Valencia; fresón en Huelva, etc.

Las hortalizas pertenecen a diferentes familias botánicas, cada una de ellas con ciertas características y exigencias de cultivo comunes:

1. *Fam. Liliaceae.* Liliáceas. Son monocotiledóneas, a diferencia del resto de hortícolas, que son dicotiledóneas. Ejemplos: *espárrago (Asparagus officinalis)*, *ajo* (*Allium sativum*), *cebolla* (*Allium cepa*) y *puerro* (*Allium porrum*).
2. *Fam. Cruciferae o Brassicaceae.* Crucíferas o brasicáceas. Flor típica en forma de cruz y fruto en silicua. Generalmente, bianuales aunque cultivadas como anuales. Resisten el frío moderado. Contienen compuestos azufrados característicos, con fuerte olor y sabor, y unas cada vez más valoradas propiedades medicinales y preventivas. Destacan, entre muchas, la *col* (*Brassica oleracea*, grupo Capitata), la *coliflor* (*B. oleracea,* grupo Botrytis), el *brócoli* (*B. oleracea* grupo Italica), el *colirrábano* (*B. oleracea* grupo Gongylodes), el *nabo* (*B. rapa* subsp. *rapa*), el *rábano* (*Raphanus sativus*), y la *rúcula* (*Eruca sativa*).
3. *Fam. Leguminosae o Fabaceae.* Leguminosas o fabáceas. Flor papilionácea (amariposada) y fruto en legumbre. Presentan zarcillos con frecuencia. Las semillas son arriñonadas, con dos cotiledones de gran tamaño, ricos en proteínas. Son especies cuyas raíces establecen simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*, gracias a lo cual utilizan el nitrógeno atmosférico. Son el *guisante* (*Pisum sativum*), el *garbanzo* (*Cicer arietinum*), la *judía* (*Phaseolus vulgaris*), el *garrofón* (*P. lanatus*), la *lenteja* (*Lens culinaris*) o el *cacahuete* (*Arachis hypogaea*).
4. *Fam. Cucurbitaceae.* Cucurbitáceas. Flores con cinco pétalos unidos, a menudo lobulados. Los sépalos y pétalos nacen de los bordes de un receptáculo ensanchado en forma de copa (hipanto). Generalmente trepadoras, con presencia de zarcillos. Fruto en pepónide y semillas típicas anchas y planas. Requieren temperaturas cálidas y son muy exigentes en agua y nutrientes. Ejemplos: *melón* (*Cucumis melo*), *sandía* (*Citrullus lanatus*), *calabacín* (*Cucurbita pepo*), *calabaza* (*C. maxima*) y *pepino* (*Cucumis sativus*).
5. *Fam. Solanaceae.* Solanáceas. Flor típica con cinco pétalos soldados y androceo inserto en el tubo de la corola. Fruto en baya. Con frecuencia contienen sustancias alcaloides, más o menos tóxicos o medicinales, como la solanina, la nicotina o la capsaicina. Ejemplos: la *berenjena* (*Solanum melongena*), la *patata* (*S. tuberosum*), el *tomate (Lycopersicon esculentum)* o el *pimiento* (*Capsicum annuum*).
6. *Fam. Umbelliferae o Apiaceae.* Umbelíferas o apiáceas. Plantas generalmente anuales de flor típica en umbela compuesta, salvo alguna rara excepción. Hojas con vainas que abrazan al tallo, que presenta entrenudos huecos. Frutos pequeños y secos, tipo aquenio. Polinización entomófila. Especies aromáticas y medicinales que favorecen la presencia de fauna auxiliar. Ejemplos: el *perejil* (*Petroselinum crispum*), el *hinojo* (*Foeniculum vulgare*), la *zanahoria* (*Daucus carota*) o el *apio* (*Apium graveolens*).
7. *Fam. Asteraceae* o *Compositae*. Asteráceas o compuestas. Inflorescencia en capítulo. Fruto en aquenio, con o sin vilano. Crecimiento típico en roseta, y cuando se dan las condiciones determinadas, el tallo se alarga (se espiga) para iniciar la fase reproductiva. Como hortícolas son muy importantes la *lechuga* (*Lactuca sativa*), *la escarola (Cichorium endivia),* la *endibia* (*Cichorium intybus*), la *alcachofa* (*Cynara scolymus*), el *cardo* (*C. cardunculus*) y el *girasol* (*Helianthus annuus*). Como ornamentales, el crisantemo, la dalia y otras muchas.
8. *Fam. Chenopodiaceae*. Quenopodiáceas. Hojas simples, cubiertas por tricomas, generalmente cultivadas por sus hojas o por sus raíces. Suelen ser resistentes a la aridez y a la salinidad. Ejemplos: la *espinaca* (*Spinacia oleracea*), la *acelga* y la *remolacha* (ambas son variedades de *Beta vulgaris*).
9. *Fam. Rosaceae.* Rosáceas. Flores con cinco pétalos y numerosos estambres. Las especies que se cultivan como hortícolas presentan frutos complejos, destacando la *fresa* y el

fresón (*Fragaria vesca*); también pertenecen a esta familia la *frambuesa* (*Rubus idaeus*), la *grosella* (*Ribes rubrum*) y las *moras* (*Rubus ulmifolius*).

C) Vid y olivo

El olivar y el viñedo ocupan el lugar más destacado entre los cultivos leñosos españoles.

1. *Viñedo* (*Vitis vinifera, fam. Vitaceae*): se destina en su mayor parte a la vinificación. En Castilla-La Mancha se concentra la mitad del viñedo español, si bien hay zonas de gran calidad vitivinícola como las de Jerez, Valdepeñas, Utiel-Requena, Jumilla, el Penedés, el Ampurdán y el Priorato, Rioja, Cariñena, Ribeiro, Rueda y Ribera del Duero.
2. *Olivar (Olea europaea, fam. Oleaceae):* es, junto a la cebada, el segundo cultivo en importancia en España. Es un cultivo de secano que aguanta mal el frío extremo, por lo que se encuentra en la meseta sur, Andalucía y Extremadura, y se extiende por el litoral mediterráneo, llegando hacia el interior por el valle del Ebro. La mayoría de su producción se destina a la extracción de aceite. En algunas provincias como Jaén llega a ser casi un monocultivo de la superficie cultivada. En los últimos años se han intensificado las técnicas de cultivo del olivo, instalándose sistemas de regadío, aplicándose podas y aumentándose la fertilización, lo que ha incrementado su productividad.

D) Cultivos industriales

Se consideran plantas industriales aquellas cuyo producto no es el consumo directo, bien porque no lo admite o bien porque su transformación es mucho más provechosa.

1. *Girasol (Helianthus annuus):* se adapta bien al secano, entra en la rotación con los cereales y, debido al aumento del uso de los fertilizantes, ha hecho disminuir de manera notable la extensión de los barbechos. Se cultiva fundamentalmente en Andalucía, Castilla-La Mancha y Castilla y León.
2. *Remolacha azucarera* (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*): es el segundo cultivo industrial en importancia. Se cultiva sobre todo en el valle del Duero, donde rota con los cereales en los regadíos, y en Andalucía. El *algodón* (*Gossypium hirsutum*) se cultiva en los regadíos de Murcia y Alicante y en los regadíos y secanos de Andalucía. El *tabaco* (*Nicotiana tabacum*) se cultiva en la vega de Granada, que es donde mayor rendimiento produce, y en Cáceres, sobre todo en la vega del Tiétar, en regadío, donde se agrupa el 98 % de la producción.
3. *Condimentos:* también se consideran cultivos industriales los dedicados a condimentos, entre los que se encuentran los pimientos para el *pimentón* y el *azafrán* (*Crocus sativus*). El primero se cultiva en los regadíos murcianos y en los de la Vera, en Cáceres. El azafrán se cultiva en los secanos manchegos de Albacete y en la provincia de Teruel.
4. *Otros cultivos industriales:* son la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el lino textil (*Linum usitatissimum*), el cáñamo textil (*Cannabis sativa*), la soja oleaginosa, el lino oleaginoso, la colza (*Brassica napus*), el lúpulo (*Humulus lupulus*) y el cártamo (*Carthamus tinctorius*); y otras industriales minoritarias como la lavanda, el lavandín (*Lavandula* spp.) y la achicoria (*Cichorium intybus*).

E) Cultivos forrajeros

Son los cultivos de plantas que se dedican de forma principal o exclusiva a alimento del ganado. Según se ha ido incrementando la cabaña ganadera, ha aumentado su área de cultivo hasta rozar el millón de hectáreas. La especie que más se emplea con tal finalidad forrajera es la *alfalfa* (*Medicago sativa*), que se cultiva en Castilla y León, Aragón y Cataluña. La planta permanece en la parcela cuatro o más años seguidos, generalmente en regadío. Otras leguminosas consideradas forrajeras son la veza (*Vicia sativa*), el yero (*Vicia ervilia*), el altramuz (*Lupinus albus*), la algarroba (*Ceratonia siliqua*) y la almorta (*Lathyrus sativus*).

F) Frutales

Los frutales ocupan en España una superficie muy elevada, destacándose el almendro por encima de todos los demás. Cabe distinguir:

1. *Frutales de hueso*: son los pertenecientes a la familia *Rosaceae*, subfamilia Prunoideas, con el fruto en drupa (endocarpio leñoso que rodea a una semilla y mesocarpio carnoso). Son el *melocotonero* (*Prunus persica*), el *albaricoquero* (*P. armeniaca*) y el *ciruelo* (*P. domestica*), que se cultivan fundamentalmente en regadío. El *cerezo* (*P. avium*) se cultiva sobre todo en secano en Extremadura y Aragón. El *almendro* (*P. dulcis*) se cultiva tradicionalmente en secano en la zona de Levante hasta la Andalucía, y en Baleares.
2. *Frutales de pepita:* son los pertenecientes a la familia *Rosaceae*, subfamilia Maloideas, con el fruto en pomo (endocarpio membranoso que rodea a varias semillas y mesocarpio carnoso). Necesitan el frío invernal para romper la latencia de las yemas y poder llegar a completar su ciclo reproductivo, sobre todo el manzano. La mayoría necesita polinización cruzada. Son importantes las plantaciones de *peral* (*Pyrus communis*) y *manzano* (*Malus domestica*) en regadío. El *níspero japonés* (*Eriobotrya japonica*) y el *membrillo* (*Cydonia oblonga*) también pertenecen a este grupo.
3. *Otros frutales:* en Canarias es de gran importancia el cultivo de la *platanera* (*Musa acuminata*), que es una monocotiledónea de origen tropical. El *caqui* (*Diospyros kaki*) es un frutal en expansión que está desplazando al cultivo de cítricos en Levante. También son importantes la *uva de mesa* (*Vitis vinifera*), el *avellano* (*Corylus avellana*), el *kiwi* (*Actinidia deliciosa*), el *aguacate* (*Persea americana*), el *granado* (*Punica granatum*) y el nogal (*Juglans regia*).

Figura 1.9
a) Flores de almendro (*Prunus dulcis*); *b)* frutos de níspero japonés (*Eriobotrya japonica*); *c)* flores de caqui (*Diospyros kaki*).

G) Cítricos

Los cítricos son especies leñosas pertenecientes a la familia *Rutaceae* y, en su mayoría, al género *Citrus*. Son especies de origen subtropical y, por ello, no soportan las heladas. Su cultivo se restringe a zonas templadas de regadío en el Levante y sur de la Península. Las flores presentan cinco pétalos blanco-amarillentos y prominente disco nectarífero en la base del ovario. Los frutos son hesperidios. Presentan aceites esenciales en casi todos sus tejidos, que se utilizan comercialmente. Son cultivos típicos de exportación. Ejemplos: la *naranja* (*Citrus sinensis*), el *limón* (*C. limon*), la *mandarina* (*C. unshiu, C. reticulata*, etc., además de numerosos híbridos), el *pomelo* (*C. grandis*), el *kumquat* (*Fortunella margarita*), etc.

Figura 1.10
Árboles de naranjo (*citrus sinensis* cvar. Salustiana).

Actividad propuesta 1.4

Lee atentamente y responde a las siguientes cuestiones:

a) En botánica, la desinencia latina de las familias es *-acea*. Haz una lista con los nombres científicos de las familias a las que pertenecen los cultivos mencionados en este tema e indica para cada una de ellas el nombre de la familia castellanizado o tradicional.

b) Busca e indica las familias a las que pertenecen los siguientes cultivos industriales y forrajeros: girasol, remolacha, algodón, tabaco, azafrán y alfalfa.

c) Identifica los cuatro cultivos de las imágenes, indicando en cada uno de ellos el nombre científico.

Fuente: Cervantes, M. A., en www.fitosofia.blogspot.com.

Resumen

- La agricultura es uno de los principales sectores económicos en España. Si bien tradicionalmente la agricultura ha proporcionado, además de alimentos y otros productos, servicios medioambientales como la regulación del ciclo del agua, la protección de suelo fértil, la creación de biodiversidad agrícola, etc., la tendencia hacia la intensificación o industrialización de la agricultura que se ha producido en las últimas décadas la ha convertido en una de los principales causas de impacto ambiental. En este primer capítulo se ha hecho una descripción de la ecología de los sistemas agrarios, sus factores y sus interacciones. Se ha visto que la agroecología aporta los conocimientos para desarrollar agroecosistemas que se beneficien de las consecuencias de la integración de la biodiversidad de plantas y otros organismos. Por último, tras realizar una visión histórica de la agricultura, se ha descrito el panorama actual del sector agrícola, así como los principales grupos de cultivos del territorio español y sus características principales.

Supuesto práctico

Realiza un estudio de una parcela de cultivo que puedas visitar y aporta la siguiente información:

a) Describe el agroecosistema formado, identificando las características del biotopo (suelo, agua y clima) y de la biocenosis (organismos que se encuentran y sus interrelaciones).
b) Haz un listado de las especies y variedades de cultivo, indicando su nombre científico y familia botánica.
c) Recoge información sobre los recursos utilizados y los residuos generados.
d) Valora el equilibrio general del agroecosistema creado e indica cinco aspectos que puedan mejorarlo.

Actividades de autoevaluación

1. A medida que se produce una sucesión progresiva en un ecosistema:
   - ☐ *a)* Aumentan los nichos ecológicos.
   - ☐ *b)* Disminuye la biodiversidad.
   - ☐ *c)* Aumenta el consumo de energía frente a la producción.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

2. Se conoce como revolución verde a:
   - ☐ *a)* La aparición de la agricultura en el Neolítico.
   - ☐ *b)* Los cambios hacia la industrialización de la agricultura que se iniciaron a mediados del siglo XX.
   - ☐ *c)* El auge de la agricultura ecológica que tuvo lugar en los años ochenta.
   - ☐ *d)* Los cambios que ha supuesto la biotecnología en los últimos años, como el uso de semillas transgénicas.

3. Las tendencias de la agricultura en el siglo XXI son:
   - ☐ *a)* El aumento en la mecanización.
   - ☐ *b)* El uso de sistemas de información geográfica (SIG) y de navegación por satélite (GPS).
   - ☐ *c)* El uso de material vegetal muy seleccionado y mejorado.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

4. El cultivo del arroz se localiza principalmente en zonas inundables de:
   - ☐ *a)* Almería y Cádiz.
   - ☐ *b)* Extremadura y Aragón.
   - ☐ *c)* Sevilla, Extremadura, Valencia y Tarragona.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

5. Los cultivos leñosos más importantes en España, en cuanto a superficie agraria ocupada, son:
   - ☐ *a)* Los cítricos.
   - ☐ *b)* El olivo y el viñedo.
   - ☐ *c)* El almendro y el manzano.
   - ☐ *d)* El peral y el aguacate.

SOLUCIONES:

1. **a** b c d **3.** a b c **d** **5.** a **b** c d
2. a **b** c d **4.** a b **c** d

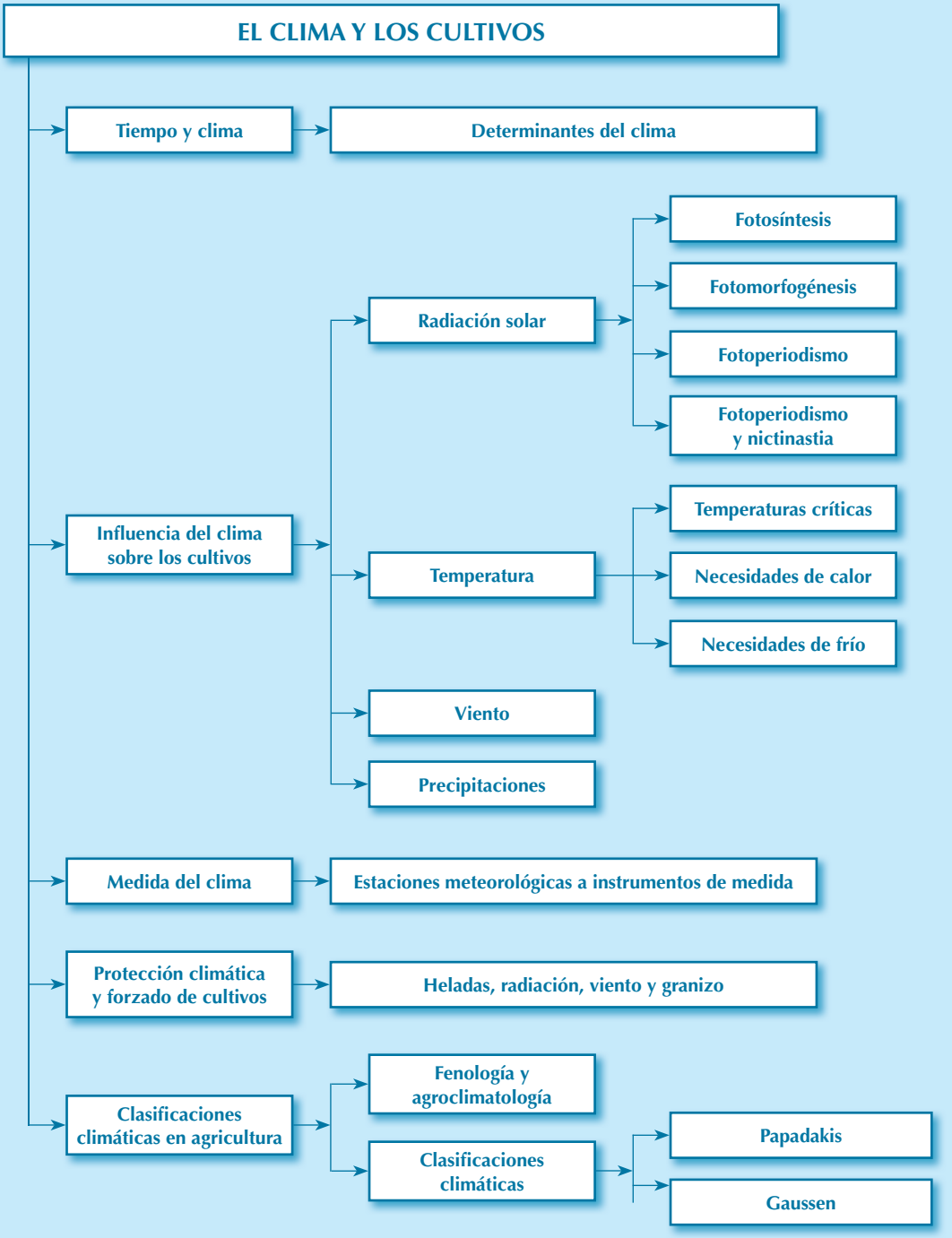
2

El clima y los cultivos

Objetivos

- ✓ Diferenciar entre los conceptos de tiempo, clima y microclima, y determinar su influencia en la planificación de cultivos.
- ✓ Analizar los datos históricos climáticos más utilizados en el contexto de la agricultura.
- ✓ Caracterizar los efectos positivos y negativos de los factores climáticos sobre los cultivos.
- ✓ Reconocer instrumentos de medida del clima.
- ✓ Conocer y seleccionar métodos e instalaciones para la protección de los cultivos contra el clima, especialmente los métodos de lucha contra heladas, radiación, viento y granizo.
- ✓ Identificar las clasificaciones agroclimáticas y relacionarlas con la posibilidad de implantar los cultivos.
- ✓ Recopilar los datos climáticos necesarios para estudiar la compatibilidad de un cultivo concreto en una zona determinada.

Mapa conceptual



Glosario

Agroclimatología. Ciencia que estudia los factores climáticos en el comportamiento de los cultivos y sus rendimientos.

Ahijamiento o amacollado. Facultad de las gramíneas de producir varios tallos partiendo de una sola semilla por brotación de yemas axilares. El resultado es una mata cespitosa, es decir, una talla ramificada desde la base.

Capa freática. Zona de acumulación de agua subterránea. Es, por tanto, una parte del suelo saturada de agua.

Cencellada. Nubes a nivel del suelo constituidas por gotas de agua a temperatura inferior a 0 °C. Es una niebla helada.

Encamado. Tumbado del tallo de una gramínea causado por el efecto del viento o la debilidad debidos a la falta de iluminación o al exceso de abonado nitrogenado, entre otros.

Etiolación. Técnica de modificación de los tejidos vegetales verdes (con cloroplastos) en tejidos sin cloroplastos, blancos y muy semejantes a las raíces. Se consigue privando de la luz a una parte o a toda una planta.

Fotoperiodo. Número de horas de luz en un ciclo de 24 horas. Suele expresarse como número de horas luz/número de horas de oscuridad. Por ejemplo, 14/10 o 16/8.

Longitud de onda de una radiación electromagnética (como la radiación solar). Es la distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos. Se representa por la letra griega 'λ' (lambda).

Microclima. Clima que se da en una zona o área relativamente reducida, con características distintas a las de su entorno inmediato que dan lugar a condiciones ambientales diferentes.

Transpiración. Evaporación de agua que tiene lugar en la superficie de un vegetal. Tiene lugar fundamentalmente en las hojas, a través de los poros de los estomas.

2.1. Introducción

El clima determina de manera fundamental el crecimiento y desarrollo de las plantas. El comportamiento y la supervivencia de los cultivos dependen de las características climáticas del lugar donde se asientan.

En primer lugar, conviene diferenciar los conceptos de *tiempo* y *clima*, que aun siendo diferentes están muy relacionados entre sí.

a) El *tiempo atmosférico:* es el estado en que se encuentra la atmósfera en un lugar y momento determinados. Describir el tiempo consiste en caracterizar los fenómenos atmosféricos como el viento, las precipitaciones, la presión atmosférica, la temperatura, la humedad, etc., en un corto periodo. El estudio y previsión del tiempo corresponden a la *meteorología*.

b) El *clima:* a diferencia del tiempo, es el estado característico de las condiciones atmosféricas de un área o región de la superficie terrestre, teniéndose en cuenta un periodo de tiempo suficiente para realizar un estudio estadístico. Es el resultado de la observación a lo largo de varios años (generalmente más de veinte). El clima de un lugar se describe a través de los valores medios y extremos de los fenómenos meteorológicos. La rama de la meteorología que estudia el clima es la *climatología*.

Los elementos que constituyen el *tiempo atmosférico* son un conjunto de fenómenos meteorológicos relacionados entre sí. Son, principalmente, *las temperaturas, los vientos, la presión atmosférica y las precipitaciones.* De todos estos elementos, los más utilizados para la clasificación y caracterización de los climas son las temperaturas y las precipitaciones.

RECURSO ELECTRÓNICO 2.1

En el anexo web 2.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los factores o determinantes del clima más relevantes (latitud geográfica, altitud, continentalidad, corrientes oceánicas, orografía y acciones antrópicas), fundamentales para entender las diferencias climáticas entre las distintas zonas del planeta.

Actividad propuesta 2.1

Visita en Internet la página web Acción por el Clima, de la Comisión Europea y, en concreto, la información que se da sobre las causas del cambio climático Según los datos y el vídeo explicativo que puedes ver en dicha página, intenta contestar a las siguientes cuestiones:

a) ¿Cuáles son los principales problemas climáticos relacionados con las actividades humanas que amenazan la Tierra?
b) ¿Cuáles son sus causas?
c) ¿Cuáles son sus consecuencias?
d) ¿Qué medidas se están adoptando para solucionarlos?
e) ¿Te parecen suficientes?

2.2. Influencia de la radiación solar sobre los cultivos

La radiación procedente del sol es la que aporta a la superficie terrestre la luz y el calor necesarios para el desarrollo de la vegetación. La radiación solar incidente sobre la Tierra se distribuye en una gama extensa de longitudes de onda, la mayoría situadas entre los 250 y 3000 nm (1 nm [nanómetro] = 10^{-9} m [milmillonésima parte de un metro]).

La luz visible es la que varía entre los 400 nm y los 700 nm, y está compuesta por radiaciones de diferentes colores en relación con sus longitudes de onda respectivas. Así, la luz de color violeta es la de menor longitud de onda, y la de color rojo, la de mayor. La mezcla de las luces de diferentes colores da como resultado la luz blanca. Cada tipo de radiación, con su

longitud de onda particular, contiene una determinada energía asociada. Cuanto más larga es la longitud de onda, menor es la energía, y a la inversa.

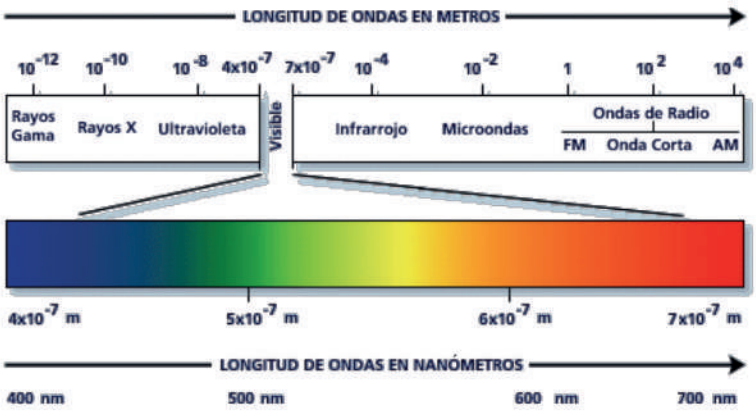


Figura 2.1
Longitud de onda y bandas del espectro de la radiación solar y terrestre.

La radiación solar tiene una amplia influencia en el desarrollo y el crecimiento de las plantas, ya que determina la *fotosíntesis* y otros procesos como la *fotomorfogénesis*, el *fotoperiodismo* y la *fotonastia*.

La respuesta de las plantas a la luz depende de la *calidad* de la misma (el espectro de longitudes de onda), la *cantidad* (intensidad de la luz), la *duración* (número de horas de exposición) y la *dirección* de la radiación que reciben.

2.2.1. Fotosíntesis

La *fotosíntesis* en las plantas consiste en la producción de una sustancia orgánica (glucosa, un azúcar sencillo) a partir de moléculas inorgánicas (dióxido de carbono y agua) que, mediante el aprovechamiento de la energía luminosa, queda transformada en energía química en la molécula de azúcar sintetizada, y produce un desprendimiento de oxígeno.

La ecuación global de la fotosíntesis puede resumirse de la siguiente manera:

Dióxido de carbono + agua + energía de la luz = Glucosa + oxígeno

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O + luz = C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

El CO_2 se encuentra en la atmósfera, desde donde se traslada por difusión (siguiendo un camino inverso al del vapor de agua durante la transpiración), a través del poro de los estomas hasta las paredes de las células del parénquima fotosintético, y, desde allí, llega hasta los cloroplastos, donde tiene lugar la fotosíntesis.

Los carbohidratos producidos durante la fotosíntesis pueden ser utilizados por las plantas como fuente de energía (en el proceso de combustión que tiene lugar en las mitocondrias, conocido como *respiración celular*) para su crecimiento y desarrollo, o bien, son almacenados en diferentes tejidos y órganos de reserva.

Así como la *fotosíntesis* consume CO_2 y libera O_2, la *respiración celular* consume O_2 y libera CO_2. Se conoce como *fotosíntesis neta* la cantidad de carbono que la planta fija o "gana" en forma de azúcar mediante la fotosíntesis, menos la cantidad de carbono que la planta consume o "pierde" debido a la respiración y a otros procesos metabólicos. La fotosíntesis neta está directamente relacionada con la ganancia en peso seco de las plantas y, por tanto, con el rendimiento del cultivo.

RECURSO ELECTRÓNICO 2.2

En el anexo web 2.2, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información importante sobre cómo ciertos factores ambientales como la luz, la concentración de CO_2, la temperatura y la disponibilidad de agua afectan a la fotosíntesis y, por lo tanto, a la productividad de los cultivos.

2.2.2. Fotomorfogénesis

La *fotomorfogénesis* se define como el crecimiento y desarrollo de la planta en función de la luz pero no relacionado con la fotosíntesis. Depende de la *intensidad* y de la *calidad* de la luz. El aumento la proporción relativa de radiación ultravioleta (100-360 nm) produce en las plantas un efecto de enanismo vegetal o achaparramiento. Debido a ello, la vegetación de alta montaña, donde la proporción en UV es mayor, tiende a ser poco esbelta o enana. Por el contrario, el predominio de radiación infrarroja (más de 800 nm) conduce a la formación de tallos largos y esbeltos, provocándose esta situación cuando hay densidades de siembra o plantación elevadas. Cuando hay escasez de radiaciones de onda corta, como en altas latitudes o con mucha nubosidad, también se producen portes esbeltos por esta causa.

El crecimiento de las plantas que han crecido en ausencia o deficiencia de luz sufren *etiolación* (en el primer caso) o *ahilamiento* (en el segundo). Las plantas que crecen en condiciones de baja o nula intensidad luminosa tienen un color amarillento por ausencia o disminución de la clorofila, no expanden sus hojas, tienen el tallo alargado y desarrollan menos cantidad de fibras.

Esta respuesta se utiliza en algunos cultivos como endivias o espárragos para obtener productos blanqueados y poco fibrosos.

2.2.3. Fotoperiodismo

El *fotoperiodismo* es la respuesta de las plantas a las variaciones en las *proporciones entre luz y oscuridad* que tienen lugar a lo largo de un día (24 horas). El fotoperiodismo es consecuencia de la absorción de luz por un pigmento de las plantas denominado *fitocromo* (P_R), que es capaz de reaccionar a luz roja (600-700 nm), transformándose en la forma activa del fitocromo (P_{FR}). En algunas plantas, la presencia de esta forma activa del fitocromo conduce a la floración, así como a otros efectos fisiológicos como la germinación de semillas y la apertura de estomas. La forma activa (P_{FR}) se convierte en la forma inactiva (P_R) por exposición a la luz roja lejana (700-800 nm) o lentamente en la oscuridad.

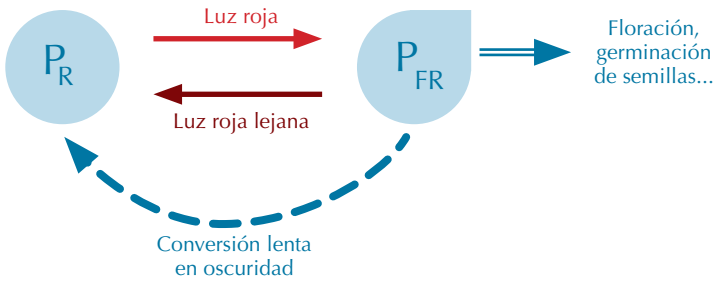


Figura 2.2
Interconversión de las dos formas del fitocromo.

En función de la respuesta en la floración a las variaciones en la duración de la exposición a la luz, se distinguen las llamadas *plantas de día corto* (PDC) y *plantas de día largo* (PDL), así como *plantas de día neutro* (PDN):

1. *PDC*: florecen cuando se exponen a un periodo de luz inferior a un cierto valor crítico. Florecen a principios de primavera o en otoño. Ejemplos: soja, algodón, dalias, poinsettias, azaleas, algunas begonias, kalanchoe, algunas compuestas, judías y fresas.
2. *PDL:* solo florecen si los periodos de iluminación son mayores que un cierto valor crítico. Florecen principalmente en verano. Ejemplos: espinaca, algunas variedades de patata, algunas variedades de trigo, gladiolos, crisantemos, lirios, lechuga, remolacha y zanahoria.

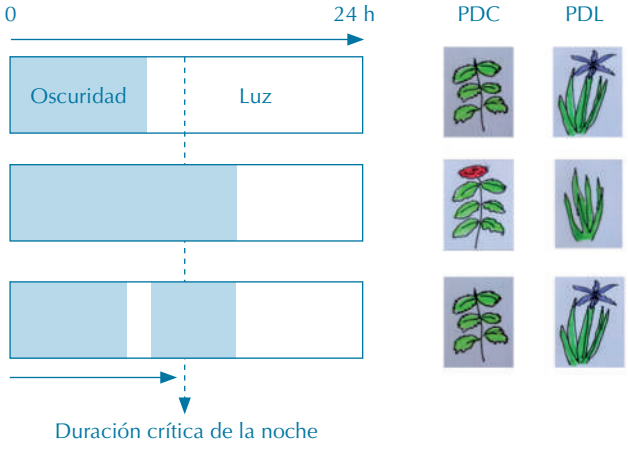


Figura 2.3
Efecto sobre la floración de la exposición a diferentes fotoperiodos de plantas de día corto (PDC) y plantas de día largo (PDL).

3. *PDN:* florecen sea cual sea la longitud del día. Ejemplos: rábano, frutales, pepino, girasol, tabaco, arroz, maíz y guisante.

Recuerda

✓ Es importante considerar que las plantas controlan el fotoperiodo midiendo las horas de oscuridad, lo que tiene consecuencias en cuanto al manejo de la luz en invernaderos cuando se quiere provocar la floración. Así, interrumpiendo durante unos minutos el periodo de oscuridad, se consigue hacer florecer a las PDL (o plantas de noche corta). Esto es una práctica habitual en invernaderos de producción de flores, como el crisantemo o el lirio.

Figura 2.4
Invernadero de producción de flor de pascua (*Euphorbia pulcherrima*), una PDC.
Fuente: Viveros Vivercid.

2.2.4. Fototropismo y nictinastia

Como la movilidad de la planta es muy reducida, la respuesta ante cambios ambientales u otros estímulos externos percibidos no origina desplazamiento, pero la reacción sí puede consistir en un tipo u otro de movimiento o crecimiento direccional.

1. *Fototropismos:* los tropismos son crecimientos direccionales de los tejidos, que tienen como consecuencia un desarrollo de la planta hacia o en contra del estímulo. Los órganos aéreos tienen *fototropismo positivo* (crecimiento hacia la luz), mientras que la raíz tiene *fototropismo negativo* (crece en contra de la luz). Los mecanismos de fototropismo responden fundamentalmente a la luz azul (420-475 nm) y ultravioleta A (alrededor de 370 nm), que estimulan unas sustancias fotorreceptoras denominadas *fototropinas*, que forman parte del sistema sensorial de las plantas a la luz.

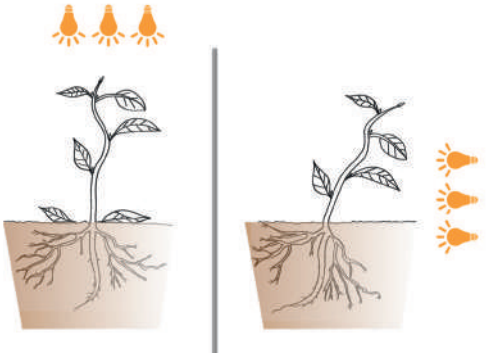


Figura 2.5
Crecimiento direccional del tallo y de la raíz de una planta como consecuencia del fototropismo.

2. *Nictinastias:* las *nastias* son movimientos de órganos inducidos por estímulos externos y, a diferencia de los *tropismos*, son pasajeros y reversibles. Concretamente, la nictinastia es el movimiento de apertura/cierre de flores y la expansión/recogimiento de hojas debido a la alternancia del día y la noche que se observa en muchas especies. Estos movimientos están inducidos por cambios temporales en la turgencia de ciertas células, que se localizan en la base de peciolos, foliolos u órganos florales. Los movimientos nictinásticos se dan como respuesta a la luz azul (420-475 nm), pero también están condicionado por el ritmo circadiano o "reloj interno" de las plantas. De este modo, aunque cambie la luz de manera artificial, puede seguir habiendo la misma respuesta debido a una inercia en el comportamiento de las flores o de las hojas.

Figura 2.6
El girasol (*Helianthus annuus*) es un ejemplo de nictinastia positiva, ya que mantiene sus flores abiertas durante el día.
Fuente: Zell, H.

Actividad propuesta 2.2

Realiza una tabla resumen en la que se indique, para cada proceso que se dé en las plantas como respuesta a la luz, el color y longitud de onda de la misma y el efecto en su crecimiento o desarrollo.

2.3. Influencia de la temperatura sobre los cultivos

Las *radiaciones infrarrojas* son las que aportan el calor a la atmósfera terrestre y determinan la temperatura del aire (y del suelo). Los promedios de temperatura o temperaturas medias son valores de referencia importantes en climatología. El procedimiento para obtenerlos consiste en realizar observaciones periódicas tomando valores en intervalos de tiempo determinados. Con todas las observaciones realizadas diariamente se puede a obtener la media del mes; y al cabo del año, la media anual. Asimismo, se calculan la temperatura media mensual de las mínimas diarias, la temperatura mínima absoluta del mes, etc.

2.3.1. Temperaturas críticas

La *temperatura* es uno de los parámetros ambientales más importantes que condicionan el desarrollo y la supervivencia de las plantas. Las temperaturas influyen en la práctica totalidad del crecimiento y desarrollo de las plantas, y de forma muy importante en la fotosíntesis y la respiración, en la ruptura de la latencia de yemas y semillas (brotación y germinación), la inducción floral de yemas, la maduración de frutos y la caída de las hojas. Estas respuestas se producen en respuesta a *altas temperaturas*, *bajas temperaturas* o a *su alternancia* entre el día y la noche.

Para cada especie, variedad y estado de desarrollo se definen los siguientes valores o intervalos de temperaturas críticas:

a) *Temperatura letal inferior y temperatura letal superior:* por debajo o por encima de las cuales la planta no sobrevive.
b) *Temperatura umbral inferior y temperatura umbral superior:* por debajo o por encima de las cuales la planta paraliza su metabolismo, pero vuelve a activarlo cuando la temperatura vuelve a valores menos extremos.
c) *Temperatura óptima:* es el valor más favorable de temperatura para que tenga lugar un proceso metabólico o fisiológico determinado con la máxima eficiencia.
d) *Cero de vegetación:* temperatura por debajo de la cual no hay crecimiento.

Estos valores pueden variar en función de las condiciones de clima y suelo en las que se haya desarrollado la planta, así como por las prácticas de cultivo.

2.3.2. Necesidades de calor: integral térmica

Cada especie vegetal precisa de una determinada cantidad de energía para completar cada fase de su ciclo vegetativo o para iniciar su actividad tras un periodo de reposo. Estas necesidades son mayores en las especies arbóreas que en las herbáceas. La *temperatura acumulada* o *integral térmica* es la suma de las temperaturas medias diarias, por encima de un umbral de temperatura que, en general, coincide con el cero de vegetación de la especie o variedad. El total sumado se denomina *tiempo térmico* o *suma de calor* y se expresa en *grados-día* (°Cd) acumulados. Mediante la integral térmica se puede predecir aproximadamente cuándo un cultivo va a alcanzar un determinado estado fenológico como la floración o la madurez de los frutos o semillas. Las diferentes variedades de cultivo de una misma especie serán más precoces cuanto menores sean sus requerimientos de calor.

La integral térmica se calcula sumando las temperaturas medias de cada día durante la fase en cuestión, una vez que se ha restado el cero de vegetación.

$$IT = \sum (Tm - t_o)$$

Donde: Tm = temperatura media diaria (°C).
t_o = cero de vegetación (°C).

Si únicamente se dispone de las temperaturas medias mensuales, la fórmula que ha de aplicarse para hallar el calor acumulado por meses es:

$$IT = \sum (T_M - t_o) \cdot d$$

Donde: T_M = temperatura media mensual (°C).
d = número de días del mes.
t_o = cero de vegetación (°C).

Por ejemplo, el trigo necesita alrededor de 2000 °Cd, siendo su cero de vegetación de 0°C. Sin embargo, el olivo necesita unos 3500 °Cd. Otros ejemplos son la soja (2000-2500 °Cd), la cebada (1500 °C), el maíz (2500 °C) o la vid (1000-1800 °C). El cero de vegetación para estos cultivos suele situarse entre 0 y 4 °C para los cereales de invierno, entre 6 y 8 °C en el caso del maíz, y entre 0 y 6 °C para el olivo y la vid.

Ejercicios resueltos

2.1. Si en un determinado día hay una temperatura máxima de 30 °C y una mínima de 15 °C, la temperatura media diaria es de (30 + 15)/2 = 22,5 °C. Si se considera la temperatura umbral como 6 °C, la suma de calor para ese día es de 22,5 – 6 = =16,5 °Cd.

2.2. Si la temperatura mensual de un mes determinado es de 23,4 °C, los grados-días acumulados en ese mes puede predecirse que son de (23,4 – 6) × 31 = 539,4 °Cd.

2.3. La variedad de maíz 'Sugarcrunch' necesita acumular unos 980 °Cd desde la siembra hasta la madurez del grano. Suponiendo que en una localidad determinada las temperaturas medias diarias desde la siembra están siendo de 10, 12, 8, 14, 16, 25 °C... se procede a sumar los grados restando a cada valor diario la temperatura umbral (suponiendo que es de 7 °C) hasta llegar a 1500. Es decir: IT = 3 + 5 + 1 + 7 + + 9 + 18 +... Cuando la suma alcance 980, el cultivo habrá llegado a su madurez.

2.3.3. Necesidades de frío: vernalización

La *vernalización* es la adquisición o la intensificación de la capacidad de florecer tras la exposición al frío durante la fase de semilla hidratada o de planta joven. La vernalización es únicamente un proceso inductivo que capacita a la planta para florecer, pero realmente esta solo florece cuando se dan las condiciones de fotoperiodo y temperaturas adecuadas. La duración del periodo de vernalización precisado se mide en *horas-frío*, que son la acumulación de horas por debajo de 7 °C, siendo cada hora-frío una hora por debajo de esa temperatura.

La mayoría de las plantas bienales, tras germinar en primavera, necesitan pasar por un periodo de bajas temperaturas en invierno para florecer durante la primavera siguiente y completar así su ciclo vital. Sin embargo, si en la fase de semilla o plántula se les somete a un tratamiento de frío artificial, las plantas florecen durante la primera primavera. Las plantas anuales, como los cereales de invierno, se siembran en otoño, vegetan durante el invierno y espigan o florecen en la primavera siguiente.

Figura 2.7
El frío estimula la floración de cítricos. Evolución de una yema de *Citrus sinensis* cvar. Salustiana desde el estado vegetativo (izq.) pasando por la diferenciación floral (central), hasta la floración (dcha.)

Las especies leñosas que precisan vernalización, que son muchas, deben pasar cada año por un periodo frío en invierno para poder florecer. Si no reciben el frío suficiente, sufren una disminución muy importante de la producción, proporcional a la deficiencia de bajas tempera-

turas. Los síntomas que se observan son una menor brotación, caída de yemas, floración escasa o flores deformadas que no consiguen cuajar frutos. En los árboles frutales, la acumulación de horas-frío se calcula desde primeros de noviembre (caída del 50 % de las hojas) hasta mitad de febrero (unos días antes de la apertura de yemas).

CUADRO 2.1
Valores orientativos de los requerimientos de horas frío de algunas especies caducas según diferentes autores

Especie	N.º de horas con temperatura entre 0 y 7 ºC
Albaricoquero	300-900
Almendro	200-500
Melocotonero	200-1000
Cerezo	500-1700
Ciruelo europeo	800-1500
Ciruelo japonés	500-1000
Manzano	800-900
Peral	600-1000
Vid	500-1400
Nogal	700-1000

Uno de los métodos para predecir las horas-frío acumuladas en un lugar en función de sus datos climáticos es el método de Mota, que correlaciona las horas-frío y la temperatura media de los meses durante el periodo invernal (de noviembre a febrero), cuya fórmula es:

$$\text{N.° horas-frío} = \sum_{\text{noviembre}}^{\text{febrero}} (485{,}1 - 28{,}5 \times \text{Temp. media mensual})$$

En el cálculo, cuando el valor de un mes es negativo, la acumulación de horas-frío se considera interrumpida.

Ejercicio resuelto 2.4

Según los registros climáticos de Almedíjar (Castellón), las temperaturas medias mensuales en noviembre, diciembre, enero y febrero son de 11,5; 8,9; 8,1 y 8,5 °C, respectivamente. Calcula las horas-frío que se acumulan en dicha localidad aplicando la fórmula de Mota.

$$\text{N.° horas-frío} = (485{,}1 - 28{,}5 \times 11{,}5) + (485{,}1 - 28{,}5 \times 8{,}9) + (485{,}1 - 28{,}5 \times 8{,}1) + (485{,}1 - 28{,}5 \times 8{,}5) = 885{,}9$$

Lo que significa que en esta localidad podrán implantarse cultivos que se encuentren por debajo de esa cifra de necesidades de horas-frío.

Actividad propuesta 2.3

a) Las variedades de guisante se clasifican en *precoces,* si necesitan una IT = 650-700 °Cd, y *tardíos,* si necesitan acumular 900-1050 °Cd. Si en Valencia los guisantes se siembran a principio del mes de febrero, predice cuándo será el momento de su recolección en variedades tempranas y en tardías, considerando una temperatura umbral de 6 °C.

b) Calcula las horas-frío que se acumulan en la localidad de Valencia aplicando la fórmula de Mota. Según el resultado obtenido, indica cuáles de los cultivos leñosos que aparecen en el cuadro 2.1 pueden cultivarse en Valencia. Las temperaturas medias mensuales para dicha localidad, según datos históricos, son las que se indican en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2
Temperaturas medias mensuales en Valencia (°C)

En.	Feb.	Mz.	Ab.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sp.	Oc.	Nov.	Dic.
10,4	11,6	12,4	16,3	19,4	23,0	26,2	26,2	24,5	19,60	14,20	9,40

Recursos WWW

Algunas administraciones regionales publican en la red, junto a los datos meteorológicos de diferentes estaciones, calculadoras de *horas-frío* o de *integral térmica*. Puedes encontrar algunos ejemplos en estas páginas web de la Comunidad Valenciana (1), Murcia (2) y Extremadura (3), a las que puedes acceder mediante los QR adjuntos:

① ② ③

2.3.4. Daños por altas temperaturas

La *temperatura letal superior* provoca la muerte de las plantas o de alguno de sus órganos debido a que da lugar a la deshidratación y desnaturalización de las proteínas, que para la mayor parte de los vegetales superiores se produce entre los 40 y los 50 °C.

Las especies vegetales se defienden de las altas temperaturas mediante la *transpiración* que, gracias al calor generado por el cambio de estado del agua, puede provocar diferencias de temperatura de 10 °C entre el aire y las hojas. Adicionalmente, se producen adaptaciones específicas a las altas temperaturas con gruesas cutículas o cortezas, coloraciones claras, disposición colgante de las hojas, disminución de la superficie foliar, etc.

Las temperaturas elevadas pueden inducir en muchas plantas la parada vegetativa de verano, típica de climas templados. Sobre todo en primavera y verano puede llegar a producirse el llamado *golpe de calor,* consecuencia de una excesiva insolación y un ambiente muy seco. El golpe de calor se traduce en marchitamiento, atabacado y necrosis de hojas y brotes, defoliación y caída y depreciación de la fruta cuando coincide con la maduración. Los frutos de los árboles,

sobre todo a partir de que toman su color característico (envero), son muy sensibles a las temperaturas elevadas; por encima de los 35-40 °C es frecuente el ablandamiento y oscurecimiento de su interior. En otros casos, se pueden provocar lesiones en la epidermis en forma de manchas o llagas, que se suberifican.

2.3.5. Daños por bajas temperaturas. Heladas

Las bajas temperaturas afectan a las plantas provocando estrés o daños por enfriamiento o *chilling* (con temperaturas superiores a 0 °C) y por congelación o *freezing* (con temperaturas por debajo de 0 °C).

a) *Estrés por enfriamiento:* afecta a plantas tropicales o subtropicales que son sensibles a temperaturas entre 0 y 10 °C. Por debajo de 15 °C tienen lugar cambios en la organización y funcionalidad de las membranas celulares y se alteran las diferentes reacciones bioquímicas (fotosíntesis, respiración, síntesis y degradación proteica, etc.). Todo ello conduce a la deshidratación y a déficits nutricionales que se observan como marchitamientos, decoloraciones, necrosis foliares y disminución del crecimiento.

b) *Estrés por congelación:* a los daños por enfriamiento se suman los daños por la formación de cristales de hielo, que provocan una deshidratación de las células por congelación del agua, desgarro de las membranas celulares por los cristales de hielo, modificaciones irreversibles de las proteínas, descalce y rotura de raíces en plantas jóvenes como consecuencia de la dilatación del volumen del suelo al helarse, etc.

Figura 2.8
Hojas de aguacate (*Persea americana*) con síntomas de estrés por enfriamiento.

Estrictamente hablando, una helada se produce cuando la temperatura del aire llega a de 0 °C o inferior, a una altura de entre 1,25 y 2 m por encima del nivel del suelo.

RECURSO ELECTRÓNICO 2.3

En el anexo web 2.3, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los factores que intervienen en el efecto concreto de la helada sobre un cultivo.

A) Tipos de heladas según los efectos sobre la vegetación

El *punto de rocío* es la temperatura por debajo de la cual el vapor de agua se condensa en rocío, niebla o escarcha. Las heladas tienen efectos diferentes sobre la vegetación dependiendo de

si tienen lugar en un ambiente húmedo (alcanzando el punto de rocío) o en un ambiente seco (sin que llegue a alcanzarse el mismo). Según este criterio, hay dos tipos de heladas:

1. *Heladas blancas:* van acompañadas de formación de hielo sobre el suelo y las plantas, lo que reduce el daño. Se producen si la humedad del aire es alta. Cuando la temperatura disminuye durante la noche y el aire es húmedo, este puede llegar a saturarse de agua, llegando a la temperatura de punto de rocío. En ese momento, el agua contenida en el aire precipita en forma líquida formando rocío o neblina, si la temperatura es superior a 0 °C. Si, por el contrario, la temperatura es inferior a 0 °C, se forma hielo (escarcha), dando lugar a una helada blanca. La aparición del rocío o hielo frena el enfriamiento del aire por liberación de calor del agua al condensarse (600 cal/g) en agua o al congelarse (80 cal/g), y ese calor liberado es, a veces, suficiente para proteger a las plantas de las bajas temperaturas.
2. *Heladas negras:* tienen lugar cuando la humedad del aire es baja. No se forma hielo porque no llega a alcanzarse la temperatura de punto de rocío. Si el aire es seco, el riesgo de helada es mayor, así como las consecuencias negativas para las plantas.

B) Tipos de heladas por su origen

Según el origen o la causa de las heladas, se pueden distinguir los siguientes tipos:

1. *Heladas de advección:* se producen por el paso de un frente frío (una masa de aire a baja temperatura). Tienen lugar, en general, en invierno, acompañadas de viento y precipitaciones en forma de agua o nieve. Son poco frecuentes.
2. *Heladas de radiación:* su origen es el enfriamiento de las capas bajas de la atmósfera por la pérdida de calor terrestre. Son las más importantes y se producen sobre todo en primavera, cuando las pérdidas de calor que sufre la superficie del suelo, por radiación, son superiores a los aportes que recibe. En estas condiciones se produce lo que se denomina *inversión térmica,* que tiene lugar cuando, debido a las pérdidas de calor de las superficies radiantes (suelo, vegetación, etc.), estas se enfrían y, a su vez, por contacto, enfrían el aire atmosférico que las rodea. Este aire frío, por su mayor peso, rueda hacia las depresiones y se acumula en zonas bajas. Como resultado, la normal distribución de las temperaturas de la atmósfera se altera y las capas más frías se sitúan más próximas al suelo, mientras que las más cálidas se sitúan por encima de estas, al pesar menos. Esta situación es frecuente a una distancia de diez metros del suelo. Las heladas de radiación son más frecuentes en noches claras, sin nubes, con una humedad atmosférica baja, con muy poco o nada de viento y en el fondo de los valles. Afectan más en suelos compactados o con una cubierta vegetal verde.
3. *Heladas por evaporación:* tienen lugar cuando se produce la evaporación de agua líquida situada sobre las superficies de los órganos vegetales, lo que provoca una absorción de calor por cambio de estado y, como consecuencia, se hielan los tejidos. Esto sucede cuando, de madrugada, debido a un descenso marcado de las temperaturas, se condensa el vapor de agua atmosférico en forma de rocío. Al restablecerse las temperaturas normales en la salida del sol, el aire seco absorbe más agua y el rocío se evapora. Suelen afectar únicamente a los órganos delicados de la planta (yemas, flores, frutos pequeños, etc.), y son más frecuentes en primavera.

RECUERDA

✓ Los factores ambientales que influyen sobre la intensidad de una helada son:

- *La nubosidad:* las nubes actúan como una barrera que evita las pérdidas de energía, absorbiendo y reteniendo la radiación del suelo.
- *La velocidad del viento:* el viento contribuye a mezclar las capas de aire igualando las temperaturas de la masa del aire, disminuyendo el riesgo de helada.
- *El laboreo del suelo y la cubierta vegetal:* la paja, la vegetación o el trabajo en el suelo frenan el aporte de calor de las capas profundas del suelo hacia la atmósfera, aumentando el riesgo de heladas.
- *La inclinación del terreno:* la helada será más intensa en el fondo de un valle debido a la acumulación de aire frío. El aire frío se desliza a lo largo de las pendientes y se acumula en los lugares más bajos. Toda barrera que evite el escurrimiento del aire frío contribuye a evitar las heladas por esta causa.

2.4. Efectos del viento sobre los cultivos

El viento es el aire en movimiento respecto a la superficie terrestre. Es uno de los elementos del clima más determinante en la planificación de cultivos.

2.4.1. Presión atmosférica y viento

La *presión atmosférica* es el peso de una columna de aire sobre un punto determinado de la Tierra. Se mide en milímetros de mercurio (mm) o, más comúnmente, milibares (mbar) o hectopascales (hPa), que son equivalentes. La presión atmosférica media es de 1013 milibares (760 mmHg).

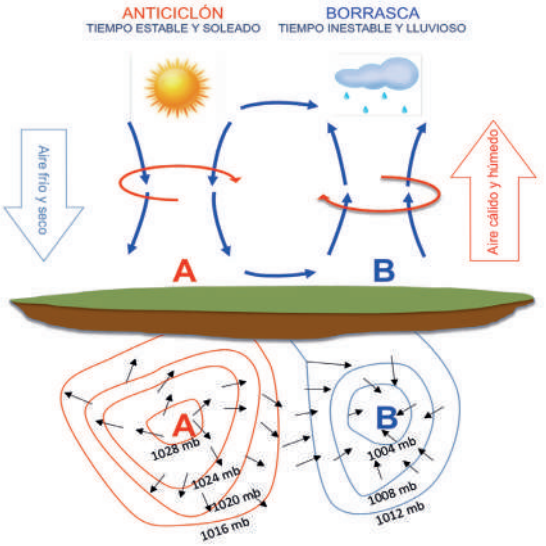


Figura 2.9
Movimiento del aire en sentido horario y descendente en condiciones de anticiclón (A) y antihorario y ascendente en borrasca (B), en el hemisferio norte. Se indican las *isobaras,* que son las líneas que unen puntos geográficos con la misma presión en un determinado momento.

La presión atmosférica está en relación directa con la temperatura del aire y la altitud, de manera que la presión es máxima al nivel del mar y va disminuyendo con la altitud. Por otra parte, si el aire se calienta, pesa menos y tiende a elevarse, mientras que, si se enfría, pesa más y tiende a descender. Estas oscilaciones de temperatura son las responsables de que se formen zonas de aire caliente o baja presión y zonas de aire frío o alta presión.

Se denominan *anticiclones* o *altas presiones (A)* a aquellas regiones en cuya zona central hay una presión mayor en la periferia, y *borrascas* o *bajas presiones (B)* a las regiones cuya zona central tiene una presión menor. En el hemisferio norte, en los anticiclones, el aire frío y pesado desciende y circula en el sentido de las agujas del reloj. En las borrascas, el aire cálido asciende y circula en sentido antihorario.

Los *vientos* son consecuencia del aire que se mueve desde las zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión.

Los vientos se miden por su *dirección* (según su origen) e *intensidad* (m/s o km/h) mediante la veleta y el anemómetro, respectivamente.

Según su intensidad, los vientos se clasifican en *débiles*, *moderados*, *fuertes*, *violentos* y *huracanados*. En cuanto a su frecuencia, se clasifican en *constantes*, *periódicos* y *variables*. Por ejemplo, un viento de 12 a 19 km/h se considera débil (por ejemplo, el que agita las hojas); a 70 km/h ya desgarra ramas, y a más de 100 km/h arranca árboles.

Según el área a la que afecta, puede hablarse de *vientos locales* (como la *brisa marina* o la *brisa de valle y de montaña*) o de *vientos regionales*, que afectan a grandes extensiones.

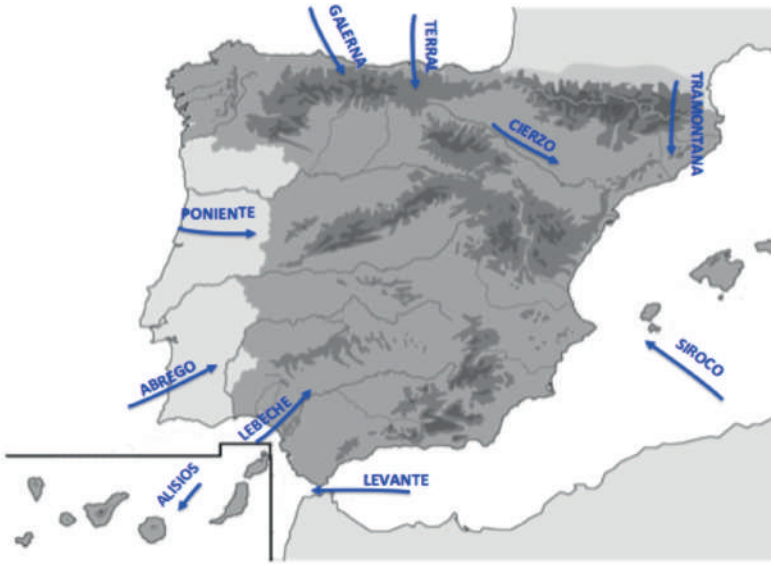


Figura 2.10
Nombres de los vientos regionales más importantes en España.

Recurso electrónico 2.4

En el anexo web 2.4, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los vientos más importantes que afectan al territorio español.

La *rosa de los vientos* es una representación gráfica de la duración y orientación de los vientos que inciden sobre un lugar. Muestra el número de días o de horas al año (o al mes) en que el viento sopla en la dirección indicada.

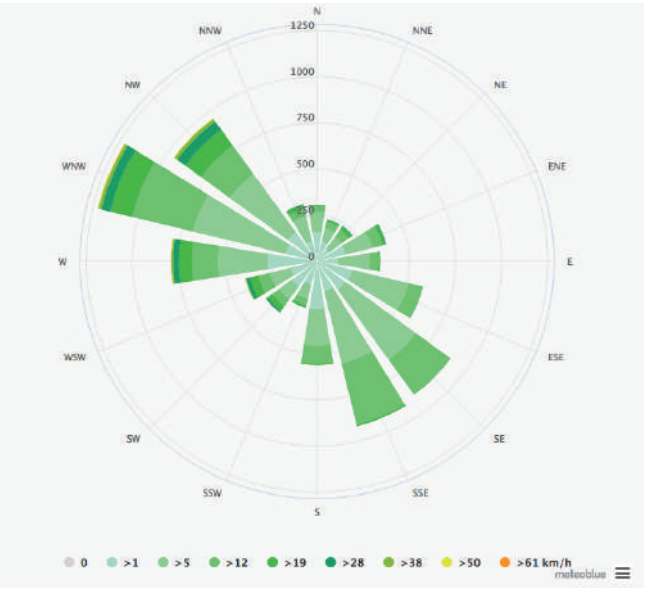


Figura 2.11
Rosa de los vientos para Segorbe (Castellón), representando el número de horas al año en que hay viento y su magnitud, en una escala de colores.
Fuente: www.Meteoblue.com

Actividad propuesta 2.4

Realiza un estudio de los vientos dominantes de una localidad determinada. Para la interpretación de los datos de intensidad mediante la escala Beaufort, puedes ayudarte de la información contenida en el enlace de Meteo Galicia, al que puedes acceder a través del QR adjunto:

2.4.2. Efectos del viento sobre los cultivos

El efecto del viento sobre la vegetación es variable en función de su velocidad, temperatura, humedad y sustancias en suspensión. El viento moderado sobre los cultivos suele ser positivo, ya que permite la renovación de las masas de aire en la proximidad de la parte aérea de los vegetales, homogeneizando la composición de la atmósfera con aporte de CO_2, estimulando la transpiración y reduciendo la temperatura, lo que favorece la fotosíntesis. Por otra parte, el viento tiene un papel como vector de propágulos y polen en las especies anemócoras y anemófilas. Sin embargo, si el viento es intenso o persistente, puede tener efectos negativos sobre los cultivos, entre los que cabe destacar:

a) *Pérdida del agua disponible al aumentar la transpiración:* lo que tiene lugar si el aire es seco, intenso y constante.
b) *Daños mecánicos en la parte aérea del arbolado:* con rotura de ramas y fustes e incluso derribos por arranque de la cepa. Ello se traduce en el porte en bandera de los árboles expuestos a fuertes vientos.
c) *Presencia de "espray salino":* en las costas, el viento lleva gotitas de agua salada en suspensión, que tienen un efecto abrasivo y producen quemaduras en la superficie del vegetal.
d) *Entorpecimiento de las labores:* de cultivo, de riego por aspersión y de la aplicación de tratamientos fitosanitarios.
e) *Posibilidad de dificultar el vuelo de los insectos polinizadores.*
f) *Transporte indeseado:* de plagas y patógenos (larvas, esporas...) y de semillas de vegetación no deseada.

2.5. Influencia de las precipitaciones y de la humedad en los cultivos

La presencia de agua en el ambiente determina el equilibrio hídrico de las plantas. Es importante considerar la humedad presente en el aire y en el suelo para el manejo adecuado de los cultivos.

2.5.1. Humedad del aire

La *humedad contenida en el aire* es el origen de las precipitaciones. La capacidad del aire para absorber o contener vapor de agua del aire depende de su temperatura, de manera que cuando la temperatura del aire desciende, disminuye la capacidad de contener agua. El agua contenida en el aire puede medirse de dos maneras:

a) *Humedad absoluta:* es el peso del vapor de agua que contiene una unidad de volumen de aire.
b) *Humedad relativa:* es el porcentaje de agua que el aire ha absorbido a una temperatura determinada con respecto al total que podría absorber a esa misma temperatura. Por ejemplo, si la humedad relativa es del 70 %, significa que el aire, a esa temperatura, aún puede absorber hasta un 30 % más de vapor de agua.

Cuando el aire atmosférico está *saturado de agua* (tiene un 100 % de humedad relativa), un descenso de la temperatura produce la condensación de agua en pequeñas gotas, lo que da lugar a las nubes. Pero, para ello, es necesario que existan los llamados *núcleos de condensación*, partículas que se encuentran en el aire, en suspensión y que facilitan que el vapor de agua pueda pasar al estado líquido. Cuando esto sucede, las pequeñas gotas condensadas pueden unirse formando nubes, precipitando en forma de lluvia (o nieve) cuando alcanzan un peso y volumen adecuado.

Las precipitaciones se miden a través de la altura de la capa de agua que se acumula en el suelo, en milímetros (1 mm = 1 l/m^2), sin tenerse en cuenta la infiltración o la evaporación.

2.5.2. Formas de precipitación

Se llama *precipitación* al agua, ya sea en forma líquida o sólida que, procedente de las nubes, alcanza el suelo. El nivel y régimen de precipitaciones son factores que determinan los diferentes tipos de vegetación, la formación de los suelos y su productividad y la erosividad del clima, entre otras numerosas cuestiones.

Cuando la temperatura de la masa de aire es inferior a 0 °C, las precipitaciones pasan a ser sólidas en forma de nieve o granizo, las cuales alcanzan la superficie terrestre en ese estado siempre y cuando las diferentes capas de aire que vayan atravesando mantengan temperaturas alrededor de los 0 °C.

La formación de la nieve y su precipitación tienen lugar de forma similar a las gotas de lluvia, es decir, a partir de la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico. La causa de que se forme el granizo es el rápido ascenso de las pequeñas gotas de agua en las nubes de desarrollo vertical (cumulonimbos), que se enfrían muy rápidamente y colisionan repetidamente con otras partículas de agua mientras siguen ascendiendo, formando el granizo por condensación directa del vapor de agua en cristales de hielo.

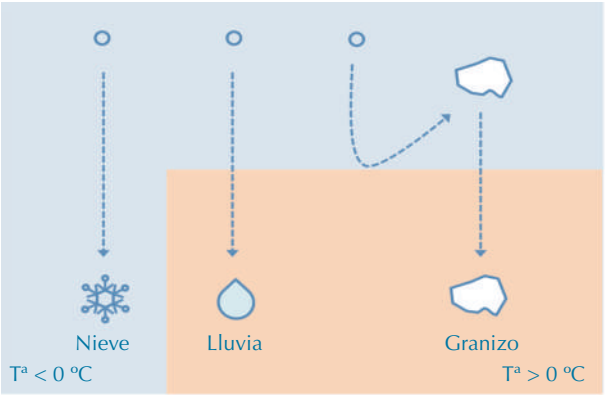


Figura 2.12
Precipitación en forma de nieve, lluvia o granizo en función de la temperatura de las capas de aire que debe atravesar el agua condensada hasta su llegada al suelo.

2.5.3. Tipos de precipitación según sus causas

Según la causa que origina la saturación de las masas de aire, las precipitaciones pueden ser clasificadas en:

a) *Precipitación por convección:* el efecto de convección se define como un *movimiento de las partículas de una masa de aire en sentido vertical*. Las precipitaciones por convección se producen por la elevación de una masa de aire cálido, que se enfría y satura de humedad en capas más elevadas, lo que da lugar a las precipitaciones.

b) *Precipitación por relieve:* se originan debido al llamado *efecto Foehn* o Föhn, que tiene lugar cuando un viento cálido y

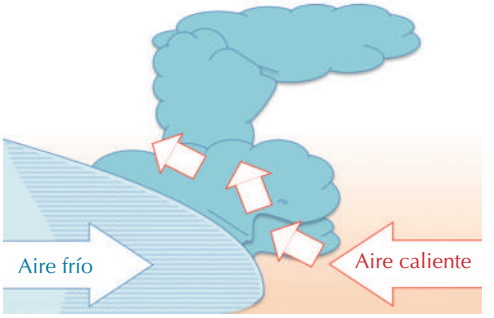


Figura 2.13
Precipitación por convección.

húmedo es obligado a ascender por una ladera, al situarse una montaña en su camino. Al elevarse, se enfría, provocando la precipitación y descargándose así de humedad. El aire que a barlovento era cálido y húmedo, a sotavento es aire seco y más cálido todavía, ya que se calienta de nuevo al descender.

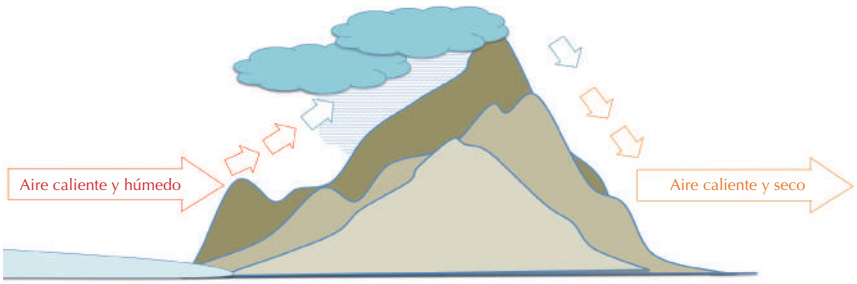


Figura 2.14
Precipitación por relieve y efecto Foehn.

Recuerda

✓ La *precipitación oculta* (o precipitación horizontal) es el agua condensada en forma de nieblas, rocíos y escarchas a nivel del suelo. Se denomina *precipitación oculta*, porque es muy difícil de medir, pero no por ello menos importante, ya que determina la supervivencia de las plantas en zonas áridas o semiáridas y permite la existencia de ciertas comunidades vegetales como, por ejemplo, los bosques húmedos de laurisilva en las vertientes orientadas al norte de las islas Canarias, sobre las que soplan los vientos alisios.

2.5.4. Daños por exceso de humedad en los cultivos

El *exceso de humedad* en el suelo puede ser consecuencia de una mala permeabilidad del mismo, a problemas de drenaje, a existencias de capas freáticas altas o a una textura arcillosa o limosa. El exceso de humedad en el suelo provoca diversos daños en los cultivos:

a) *Asfixia radicular:* tiene lugar cuando el exceso de agua en el suelo disminuye la presencia de O_2 disponible para la raíz, lo que impide la respiración y, en consecuencia, la absorción de nutrientes. Los síntomas visibles en la raíz son necrosamientos y pudriciones.
b) Aumento en la actividad de los microorganismos anaeróbicos de suelos.
c) Mayor afección de enfermedades relacionadas con hongos y bacterias.

El exceso de humedad en el aire puede estar relacionado con una mala aireación, el exceso de densidad de plantación, la falta de insolación o las bajas temperaturas. Una humedad relativa demasiado elevada dificulta la transpiración y, con ello, la absorción y transporte de agua y sales minerales (savia bruta) por el xilema. Puede dificultar la polinización y favorecer enfermedades fúngicas o bacterianas.

RECURSO ELECTRÓNICO 2.5

En el anexo web 2.5, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre la creencia que existe, desde tiempos remotos, de que la Luna influye en el comportamiento de los vegetales, y que, en consecuencia, determina el resultado de las actividades que se llevan a cabo sobre los cultivos.

2.6. Medida del clima

Las *estaciones meteorológicas* son lugares o instalaciones donde se emplazan diferentes instrumentos de medida del clima que miden y registran diferentes variables meteorológicas. Actualmente, la mayoría de ellas tienen un registro automático de datos. Las estaciones meteorológicas oficiales deben cumplir con una serie de requisitos dictados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), como estar situadas en un lugar llano y libre de obstáculos cuyas condiciones sean representativas de la zona.

Según la WMO, las garitas o casetas donde se instalan los instrumentos de medida del clima deben ser de madera, pintadas de blanco y esmaltadas para reflejar bien la radiación, con buena ventilación, doble techo y tejado inclinado para dejar escurrir el agua de lluvia y nieve. La puerta debe estar orientada al norte, para evitar que al realizar las observaciones los rayos solares incidan sobre los instrumentos. Siempre que sea posible, el suelo debe estar cubierto de césped en una superficie de 10 × 10 m.

Los instrumentos más comunes y las variables que se miden en una estación meteorológica son los recogidos en el cuadro 2.3.

Figura 2.15
Garita meteorológica.
Fuente: www.obsevre.es.

CUADRO 2.3
Instrumentos de medida del clima

Instrumento	Variable climática	Descripción	Unidades de medida
Termómetro	Temperatura del aire	De vidrio o de líquido: consisten en un tubo de vidrio con alcohol coloreado. Anteriormente eran de mercurio. También hay un termómetros digitales.	Grados Celsius (°C)
Termómetro de máximas y mínimas	Temperaturas máxima y mínima del aire en 24 horas	Dos termómetros de vidrio montados en un solo aparato o un termómetro digital.	Grados Celsius (°C)

[.../...]

Cuadro 2.3 (cont.)

Instrumento	Variable climática	Descripción	Unidades de medida
Termómetro de subsuelo	Temperatura a diferentes profundidades del suelo (5, 25, 100 cm, etc.)	Termómetro bimetálico, formado por dos láminas de metales de distintos coeficientes de dilatación.	Grados Celsius (°C)
Termómetro de suelo	Temperatura a 15 cm sobre el suelo	Termómetro de vidrio o digital.	Grados Celsius (°C)
Barómetro	Presión atmosférica	Barómetro de mercurio: columna de Hg. Barómetro aneroide: cápsula flexible cerrada de manera hermética.	mmHg, mPa, milibares (mbar)
Pluviómetro	Precipitación acumulada	Recipiente donde se recoge la lluvia, con una superficie captadora de tipo circular.	mm de agua o litros/m^2
Psicómetro	Humedad relativa del aire y temperatura del punto de rocío	Dos termómetros, uno de bulbo húmedo y otro normal. La HR se calcula a partir de la diferencia de temperatura entre ambos termómetros. El punto de rocío puede conocerse a través de la HR.	Porcentaje de humedad.
Heliógrafo	Horas de sol en un día	El heliógrafo de Campbell-Stokes es una bola de vidrio macizo que actúa como lente y concentra los rayos solares sobre una cartulina que va quemando.	Número de horas de sol/día
Anemómetro	Velocidad del viento	Tres cazoletas semiesféricas montadas sobre un eje vertical giratorio, situado a una distancia determinada del suelo.	m/s, km/h
Veleta	Dirección del viento	Placa que gira libremente sobre un eje.	Grados o rumbos con respeto a una rosa de los vientos de 16 rumbos
Piranómetro	Radiación solar incidente	Mide la radiación solar en un campo de 180 grados, a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio.	w/m^2, J/m^2

[.../...]

CUADRO 2.3 (CONT.)

Instrumento	Variable climática	Descripción	Unidades de medida
Termohigrógrafo	Temperatura del aire y humedad relativa	Aparato que registra en una gráfica las temperaturas y la humedad relativa en función del tiempo.	°C y porcentaje de humedad relativa en función del tiempo
Tanque de evaporación	Evaporación	Tanque metálico.	mm/día

RECURSO ELECTRÓNICO 2.6

En el anexo web 2.6, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre la manera en que se mide la velocidad de evaporación en tanques normalizados.

2.7. Protección climática y forzado de cultivos

La práctica de la agricultura incluye con frecuencia la aplicación de *métodos para alterar o controlar las condiciones climáticas* a las que se ven expuestos los cultivos, ya sea para protegerlos de condiciones desfavorables o para "forzar" o favorecer la precocidad, así como para mejorar la calidad de la producción.

Este control climático puede ejercerse a través de diferentes tipos de sistemas, y debe empezar por aplicar *métodos preventivos o indirectos*, como son la elección, dentro de lo posible, del emplazamiento más adecuado y la estación más favorable, así como la selección de material vegetal resistente. A partir de ahí, la aplicación de sistemas de control (*métodos directos de protección*) está condicionada por las necesidades de inversión de capital y los costos de mantenimiento que el agricultor esté dispuesto a asumir.

Se denomina *cultivo forzado* a aquel que se desarrolla durante todo su ciclo productivo o parte del mismo (*cultivo semiforzado*) aplicando técnicas e instalaciones de control ambiental como invernaderos, iluminación complementaria, sombreados, etc. Entre los objetivos que se persiguen con el cultivo forzado están los siguientes:

a) Conseguir producciones donde el clima no lo permite al aire libre o fuera de la estación habitual (fuera de temporada).
b) Aumentar el rendimiento de la producción por ciclo de cultivo o el número de cosechas, acortando el ciclo de cultivo.
c) Disminuir la incidencia de plagas y enfermedades.
d) Mejorar la calidad de la producción.

Un *cultivo protegido* es aquel que se desarrolla al aire libre, pero sobre el que, eventualmente, puede aplicarse algún sistema de defensa climática.

Los sistemas de control climático pueden resumirse en los siguientes:

1. *Sistemas semiforzados*. Cajoneras o vidrieras, microtúneles, túneles bajos de polietileno, etc.
2. *Sistemas forzados*. Invernaderos y túneles con distintos medios de control: estufas, sistemas de refrigeración, acolchado, pulverización, nebulización, iluminación, sombreado, etc.
3. *Sistemas protegidos*. Defensa contra heladas, radiación, vientos y granizo.

A la hora de seleccionar estos métodos de protección o forzado de cultivos, además de los condicionantes económicos, hay que tener en cuenta condicionantes ambientales como el consumo de energía, la generación de residuos (sobre todo, plásticos) y la liberación de contaminantes al medio.

En el apartado 7.4 se describen las infraestructuras para el forzado de cultivos.

2.7.1. Métodos de protección de cultivos contra heladas

Algunas de las técnicas que pueden utilizarse para proteger a los cultivos de las bajas temperaturas son las siguientes

1. *Métodos preventivos, indirectos o pasivos:*

   a) Selección de cultivos, variedades y portainjertos resistentes o con brotación o floración tardía.
   b) Selección de fechas de plantación, una vez la probabilidad de helada ha disminuido.
   c) Uso de sustancias químicas que retrasen la brotación o la floración, como ciertos reguladores del crecimiento (no permitido en agricultura ecológica).
   d) Evitación de la inversión térmica o embolsamiento de aire frío eliminando obstáculos que impidan el drenaje de aire frío.
   e) Mantenimiento de un buen estado nutritivo del cultivo.
   f) Evitación del laboreo del suelo durante los periodos con probabilidad de heladas, ya que crea espacios de aire en el suelo, lo que permite almacenar menos calor. Si se labra un suelo, para mejorar el almacenamiento del calor, hay que compactarlo y regarlo.
   g) Eliminación de las cubiertas verdes para favorecer la absorción de la radiación por el suelo.
   h) Cubrición del suelo con plásticos. Los plásticos claros calientan más el suelo que los plásticos negros. Humedecer el suelo antes de aplicar el plástico mejora su eficacia.
   i) Cubrición del suelo con materiales orgánicos (estiércol, paja u otros residuos vegetales) o con coberturas protectoras, con o sin soportes, para evitar la pérdida de calor desde el suelo.
   i) Pintura sobre los troncos con una pintura blanca de látex diluida al 50 % con agua a finales de otoño (ver figura 2.15).
   k) Poda, ya que favorece el nuevo crecimiento de los árboles, por ello se recomienda la poda tardía para los árboles de hoja caduca y para los viñedos.
   l) Enfriamientos para retrasar la floración. Hacer funcionar los aspersores durante los días cálidos en invierno puede retrasar la floración y, con ello, proporcionar una medida de protección contra las heladas.

m) Utilización de crioprotectores y antitranspirantes como protección contra el daño por helada. Aunque son utilizados frecuentemente, no se ha encontrado que ninguno de estos materiales proporcione de una forma consistente protección a las yemas florales ni a las flores o frutos pequeños.

2. *Métodos directos o activos:* son temporales y se basan en métodos físicos e intensivos desde el punto de vista energético. Requieren esfuerzo en el día previo o durante la noche de la helada.

   a) Producción de calor seco, quemando diferentes tipos de combustibles sólidos (serrín), líquidos (aceites, gasoil...) o gaseosos (propano) en estufas que se colocan en el campo de forma temporal o en hogueras. Tienen un gran coste energético y la eficacia es limitada.
   b) Producción de calor húmedo, cedido por el agua al congelarse: debe realizarse con antelación un riego de superficie para aumentar la inercia térmica del suelo, o regar por aspersión o microaspersión justo antes de alcanzar los 0 °C y durante la helada. El consumo de energía de los aspersores es considerablemente más bajo que el utilizado para la protección de heladas con estufas. La necesidad de mano de obra también es inferior a la necesaria en otros métodos, y es relativamente no contaminante. Las principales desventajas del uso de aspersores son el elevado coste de instalación y la gran cantidad de agua necesaria.
   c) Agitación de las capas de aire, con el fin de evitar la inversión térmica, mediante ventiladores. Aunque su puesta en marcha es en general un 10 % del gasto energético de las estufas, suponen una gran inversión inicial. Se pueden utilizar también helicópteros, volando a unos 20-30 m del suelo.
   d) Formación de nubes de humo (partículas) que reflejen la radiación terrestre.

Figura 2.16
Árboles de higuera (*Ficus carica*) blanqueados con látex al agua como protección a los cambios de temperatura.

2.7.2. Protección contra el exceso de radiación

El exceso de radiación va acompañado de elevadas temperaturas y elevada transpiración. Por ello, en climas cálidos es habitual utilizar sistemas de sombreado para proteger a los cultivos.

El sombreado permite reducir la temperatura y adecuar la intensidad de radiación sobre el cultivo. La elección del método y tipo de sombreo dependen de la superficie que se vaya a cubrir y del nivel de saturación luminosa de la planta, según sea de sol o de sombra, para impedir que se produzcan fenómenos de fotoinhibición.

En otras ocasiones el sombreado se realiza para mejorar la calidad de la producción. Bajo intensidades de luz escasas, las plantas producen hojas más anchas, menor producción de fibras y acogollado de plantas con crecimiento en roseta, como las lechugas.

El sombreado puede consistir en la instalación de mallas de diferentes materiales (polietileno, polipropileno, poliéster, diferentes tipos de fibras, mallas aluminizadas, etc.). En el caso de instalarse al aire libre, deben disponer de dispositivos de seguridad frente al viento. Si se ubican en el interior de invernaderos, hay que asegurarse de disponer de la altura útil suficiente y de no dificultar la ventilación. Tanto en el exterior como en el interior de invernaderos, las mallas pueden ser fijas o móviles. En el caso de las móviles, su accionamiento puede ser manual o automático, siendo en este caso activado mediante sensores de temperatura y radiación.

El blanqueado es un tipo de sombreado que consiste en la aplicación de pintura sobre la cubierta de los invernaderos, que reflejan parte de la radiación solar hacia arriba. Antiguamente se utilizaba una mezcla de cal y agua, pero en la actualidad existen pinturas selectivas que permiten un mejor aprovechamiento de la radiación fotosintéticamente activa (RFA o PAR en inglés). Es un sistema de sombreado económico pero menos eficaz que el uso de mallas, ya que hay un mal aprovechamiento de la luz durante las horas primeras y finales, y en días nublados. Pueden, además, lavarse debido a la lluvia, disminuyendo su efectividad.

2.7.3. Protección contra el viento

Además de las estrategias indirectas para evitar los vientos dominantes en una plantación atendiendo a razones de diseño, para evitar los efectos negativos del viento puede procederse a la instalación de estructuras cortavientos, capaces de disminuir la intensidad o cambiar la dirección del mismo. Suelen instalarse perpendicularmente a los vientos más frecuentes o peligrosos.

La eficacia de un cortavientos depende fundamentalmente de la *altura,* la *permeabilidad* y la *estructura* que presente. Los más usados para proteger los cultivos son:

a) *Cortavientos inertes:* setos formados por material vegetal inerte (cañizos, zarzas, etc.) o muros de cerramiento construidos con diferentes materiales.
b) *Cortavientos vivos:* setos o barreras formados por arbustos o árboles. Como la velocidad del viento crece a medida que aumenta la distancia al suelo, afecta en mayor medida a las formaciones más altas que a las de menor talla, pero las primeras reducen con mayor eficacia su velocidad.

Según la *permeabilidad* de los cortavientos, expresada por el porcentaje de superficie de poros, estos pueden clasificarse como:

- Abiertos (superficie de huecos > 75 %).
- Semidensos o semipermeables (50-75 %).
- Densos o impermeables (25-50 %).
- Muy densos (< 25 %).

Cuanto más impermeable o denso es el cortavientos, mayor es el efecto barrera, pero una excesiva densidad puede dar lugar a torbellinos a sotavento, lo que puede dañar a la vegetación. Se estima que la influencia de un cortavientos uniforme y semipermeable llega hasta diez veces la altura del mismo en la zona de barlovento y hasta treinta veces en la zona de sotavento.

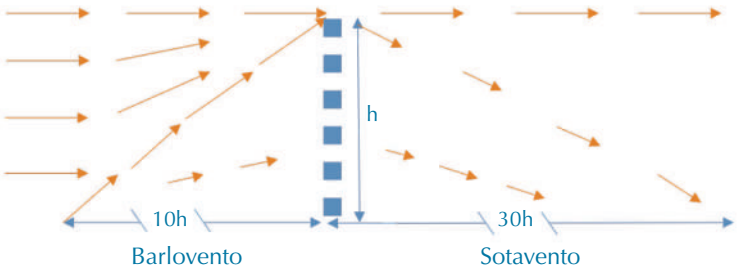


Figura 2.17
Protección por la acción de un cortavientos semipermeable.

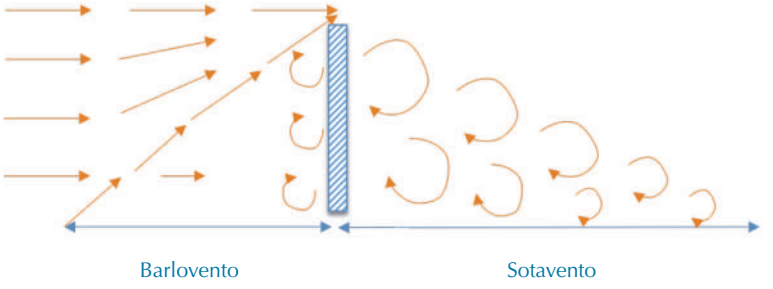


Figura 2.18
Torbellinos formados por la acción de un cortavientos impermeable.

En definitiva, los mejores cortavientos son los que tienen una permeabilidad próxima al 50 %. Deben situarse a distancias que oscilan entre 15-20 veces su altura, en el caso de los cortavientos semipermeables, y 6-10 veces su altura, en el caso de los cortavientos abiertos e impermeables. La orientación, evidentemente, debe ser perpendicular a la de los vientos dominantes, frente a los que se busca protección. Es frecuente tener que recurrir a plantear la defensa frente a vientos de varias direcciones. En este caso, es recomendable disponer los cortavientos en estructura reticular o en malla.

En cuanto a la selección de especies vegetales, es preferible elegir las que tengan un enraizamiento pivotante. Deben utilizarse especies con madera flexible para que el viento no las rompa y que sean, además, resistentes a la poda. Conviene utilizar especies autóctonas de comportamiento rústico, incluyendo algunas de crecimiento rápido. Para los setos vivos suelen utilizarse especies como *Cupressus* spp., *Populus* spp., *Thuya* spp., etc. Para los cortavientos inertes se emplean cañas (*Arundo donax*) o, preferentemente, cañizo (*Phragmites australis*).

Hay que emplear especies de distinta altura para evitar vacíos a diferentes niveles de la estructura del cortaviento, así como intentar crear un perfil suave en el perfil transversal.

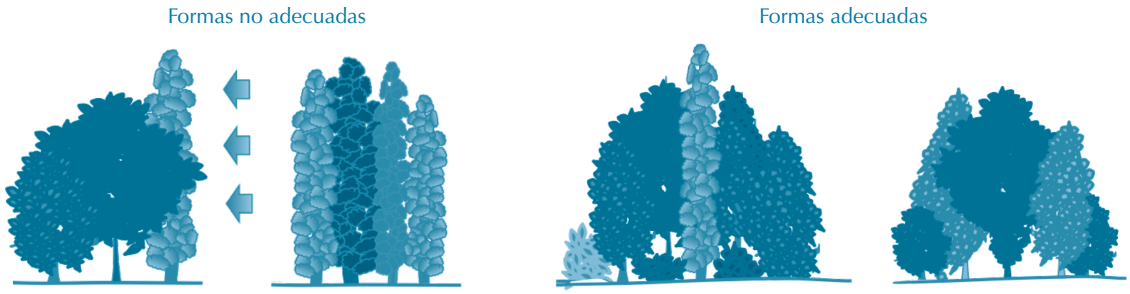


Figura 2.19
Formas adecuadas y no adecuadas para el perfil transversal de un cortavientos.

La presencia de cortavientos en las zonas de cultivo genera algunos inconvenientes, como la ocupación de superficie útil, dificultades en la mecanización, sombreados o competencias por agua y nutrientes y ocupación de suelo por raíces en setos vivos.Y hay que recordar que pueden favorecer heladas por provocar embolsamientos de aire frío.

Por otra parte, los cortavientos vivos contribuyen a la biodiversidad del agroecosistema y pueden ser refugio de muchos insectos beneficiosos, contribuyendo así a mantener el equilibrio con determinadas plagas. Pueden utilizarse, asimismo, para lindar parcelas y contener el suelo en desmontes o terraplenes, evitando la erosión.

2.7.4. Protección contra el granizo

El granizo es un fenómeno bastante imprevisible que afecta especialmente a los productores de fruta. El único método de lucha eficaz contra el granizo parece ser la instalación de mallas antigranizo, pero como suponen una inversión económica muy elevada, la mayoría de los agricultores optan por la contratación de seguros agrarios antigranizo para paliar las pérdidas económicas.

Recurso electrónico 2.7

En el anexo web 2.7, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los principales métodos de protección contra el granizo.

2.8. Clasificaciones climáticas en agricultura

El territorio español presenta marcados contrastes climáticos, propiciados en gran parte por su orografía, con abruptos relieves, y por su hidrografía marina y continental. Esto se traduce en un variado mosaico de climas, que afectan a la distribución de los ecosistemas naturales y que también determinan los cultivos de cada zona.

La *agroclimatología* utiliza diferentes métodos de clasificación del clima con el objetivo de conocer o delimitar las zonas adecuadas para los diferentes cultivos únicamente desde el punto de vista de sus necesidades climáticas.

La *fenología* es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan de forma periódica y que tienen relación con el clima y el tiempo atmosférico en un determinado lugar. De la fenología se puede obtener información relativa al clima y, sobre todo, al microclima de un lugar, cuando ni uno ni otro se conocen con exactitud.

RECURSO ELECTRÓNICO 2.8

En el anexo web 2.8, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás una descripción de los estados fenológicos establecidos para los diferentes cultivos.

2.8.1. Regiones agroclimáticas de España

Las distintas regiones de cultivo pueden caracterizarse a través de los parámetros agroclimáticos utilizados en diferentes sistemas de clasificación. Uno de los sistemas de clasificación agroclimática más conocidos es el de Papadakis.

El *método de clasificación climática Papadakis* describe el clima de un lugar teniendo en cuenta las temperaturas extremas y el régimen de precipitaciones, definiendo los cultivos que pueden implantarse. Determina, en primer lugar, el *tipo de invierno* y el *tipo de verano* (ambos determinan el *régimen térmico*) y, posteriormente, el *régimen hídrico.* Con los regímenes térmico e hídrico se determina finalmente el *tipo climático*.

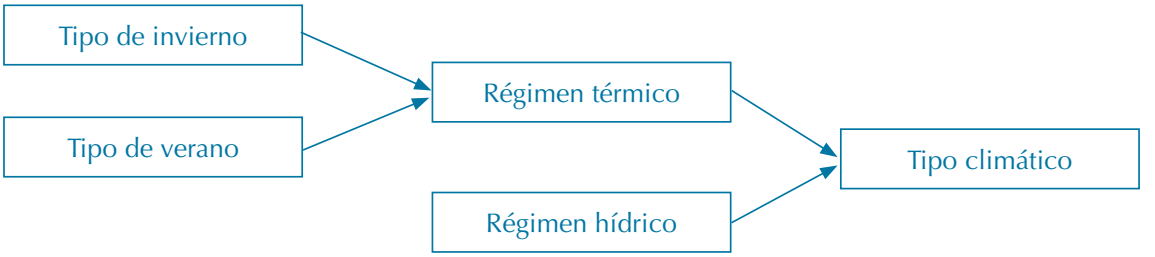


Figura 2.20
Esquema simplificado del método de clasificación climática de Papadakis.

RECURSOS WWW

La clasificación climática de Papadakis se describe en varios manuales y portales en Internet como, por ejemplo, en los enlaces de Meteo Navarra (1) y la UPM (2) a los que puedes acceder mediante estos QR.

① ②

Investiga

En el visor GeoPortal, del MAGRAMA, pueden visualizarse y consultarse diferentes parámetros agroclimáticos (http://sig.magrama.es/geoportal), entre ellos, las clasificaciones de Papadakis.

Por ejemplo, para la localidad de Segorbe (Castellón), los datos consultados en GeoPortal indican que el tipo de invierno es *Ci (Citrus)*, el tipo de verano *O (Oryza)*, el régimen térmico *marítimo cálido*, el régimen hídrico el *mediterráneo seco* y, finalmente, el tipo climático es el *mediterráneo marítimo*.

Consulta el visor y averigua cuál es la clasificación climática del término de Albarracín (Teruel) según Papadakis.

Por otra parte, el método de clasificación agroclimática de Papadakis divide el año en tres periodos, dependiendo de los valores de las temperaturas medias mensuales de las mínimas absolutas (t'a).

- EMLH Estación media libre de heladas t'a > 0 °C
- EDLH Estación disponible libre de heladas t'a > 2 °C
- EmLH Estación mínima libre de heladas t'a > 7 °C

Se supone que las temperaturas medias mensuales de las mínimas absolutas (t´a) se producen el primer día del mes, cuando las temperaturas son ascendentes, y el último día del mes, cuando son descendentes.

Ejercicio resuelto 2.5

Determina los periodos libres de heladas según el método de Papadakis para la localidad de Ademuz (Valencia), sabiendo que las medias de las temperaturas mínimas absolutas de los últimos treinta años son las siguientes:

	Ene.	Feb.	Mz.	Ab.	My.	Jn.	Jl.	Ag.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
t´a (°C)	–4,2	–4,1	–3,0	–1,8	2,0	7,1	10,4	10,1	6,2	3,1	–2,2	–4,4

- EMLH: Estación media libre de heladas t'a > 0 ° C: mayo a octubre
- EDLH: Estación disponible libre de heladas t'a > 2 ° C: junio a octubre
- EmLH: Estación mínima libre de heladas t'a > 7 ° C: junio, julio y agosto

2.8.2. Diagramas ombrotérmicos de Gaussen

Son diagramas muy utilizados en los cuales se representa el clima de una zona a través de la distribución anual de las temperaturas medias y las precipitaciones.

RECURSO ELECTRÓNICO 2.9

En el anexo web 2.9, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre cómo elaborar los diagramas ombrotérmicos de Gaussen y cuáles son sus principales características.

Actividad propuesta 2.5

Construye un diagrama de Gaussen para la localidad de Segorbe (Castellón) consultando los datos y los diagramas en las siguientes páginas web:

- www.globalbioclimatics.org: ofrece gráficos muy completos y datos exhaustivos.
- es.climate-data.org: ofrece tabla de datos climáticos aproximados y diagramas muy sencillos.

Resumen

- El clima tiene una influencia decisiva en el desarrollo y el crecimiento de las plantas, y, por lo tanto, determina la posibilidad de establecer cultivos en determinadas zonas, así como su rendimiento y calidad de la cosecha. Los elementos que constituyen el clima son un conjunto de fenómenos meteorológicos relacionados entre sí. Son, principalmente, las temperaturas, los vientos, la presión atmosférica y las distintas formas de precipitación. Todos ellos vienen condicionados por la latitud, la altitud y la continentalidad. La radiación solar incidente influye directamente sobre la fotosíntesis, pero también condiciona la respuesta fotoperiódica y la fotomorfogénesis. Es importante conocer las temperaturas críticas de un cultivo, así como sus necesidades de calor y de frío para completar su ciclo productivo sin limitaciones. La práctica de la agricultura incluye la aplicación de métodos para alterar o controlar las condiciones climáticas a las que se ve sometida el cultivo, bien para forzarlos o bien para protegerlos de valores extremos. La protección climática incluye métodos de lucha contra las heladas, el exceso de radiación, el viento o el granizo. Las distintas regiones de cultivo pueden caracterizarse a través de parámetros agroclimáticos utilizados en diferentes sistemas de clasificación. Estas clasificaciones se utilizan para planificar adecuadamente el cultivo según sus condicionantes climáticos.

Supuesto práctico

Comprueba cuáles son las condiciones climáticas en una localidad cualquiera, en función de los condicionantes climáticos del olivo, que son los siguientes:

- Resistencia a heladas: la temperatura media de las mínimas absoluta del mes más frío debe ser > –7 °C. Las heladas de –5 °C causan daños al olivo, muy graves con temperaturas por debajo de –8 °C. La temperatura media de las mínimas del mes más frío debe ser > 0 °C. La estación mínima libre de heladas debe ser mayor de cuatro meses.
- Necesidades de calor: se cubren con un verano tipo arroz (*Oryza*). Las necesidades de calor del olivo se cifran en 3300º Cd, con una temperatura umbral de 7 °C.
- Necesidades de frío: las necesidades son distintas según sea la variedad, aunque las cifras más citadas oscilan entre 400 y 800 horas-frío (por debajo de 7 °C).
- Necesidades de agua: se considera adecuada una pluviometría media anual entre los 500 y los 800 mm. Entre 500 y 200 el cultivo puede desarrollarse, pero las producciones son progresivamente menores conforme la disponibilidad de agua se aleja de los valores óptimos.

a) Considera y concluye si sería posible el cultivo del olivo en la localidad estudiada.

b) En caso de duda o marginalidad, considera si serían de aplicación algunos de los métodos indirectos de lucha contra las heladas o cualquier otro método de protección contra el clima.

Actividades de autoevaluación

1. Son factores determinantes del clima:
   - ☐ *a)* El movimiento de rotación de la Tierra.
   - ☐ *b)* La longitud geográfica.
   - ☐ *c)* Las fases lunares.
   - ☐ *d)* Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

2. La fotosíntesis neta es:
   - ☐ *a)* La cantidad de carbono total gastado durante la respiración celular.
   - ☐ *b)* La cantidad de carbono fijado por la fotosíntesis menos el perdido por la respiración.
   - ☐ *c)* La cantidad de carbono total fijado por la fotosíntesis en forma de azúcares sencillos.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

3. La respuesta fotoperiódica se activa con:
   - ☐ *a)* La luz roja.
   - ☐ *b)* La luz ultravioleta.
   - ☐ *c)* La radiación infrarroja.
   - ☐ *d)* La luz azul.

4. Son condiciones que favorecen la inversión térmica:
   - ☐ *a)* Suelo con cubierta vegetal verde.
   - ☐ *b)* Poco o nada de viento.
   - ☐ *c)* Cielo despejado, sin nubes.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

5. La clasificación agroclimática de Papadakis incluye la determinación de:
   - ☐ *a)* El régimen térmico.
   - ☐ *b)* El régimen hídrico.
   - ☐ *c)* El tipo climático.
   - ☐ *d)* El diagrama de Gaussen.

SOLUCIONES:

1. a b c **d** **3.** **a** b c d **5.** **a** **b** **c** d
2. a **b** c d **4.** a b c **d**

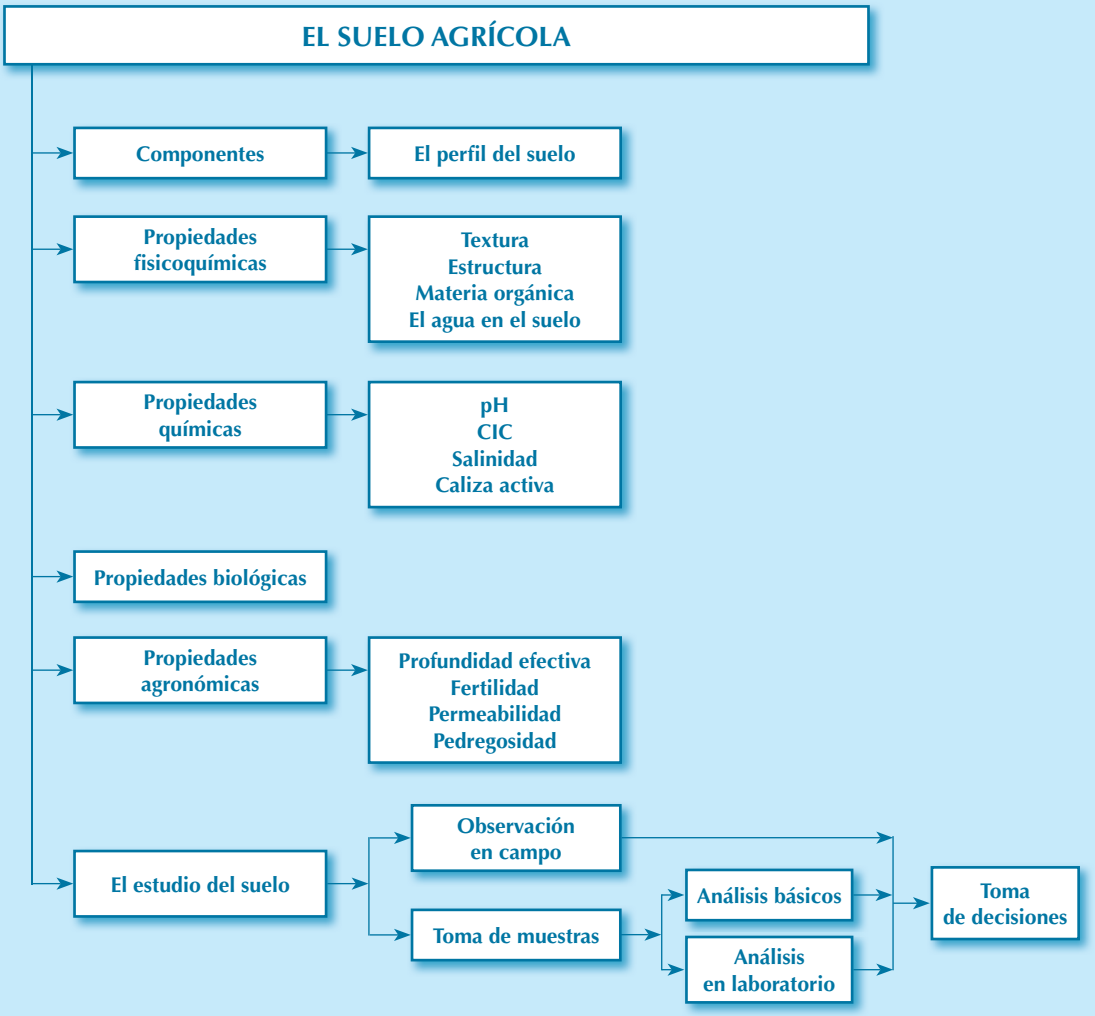
3

El suelo agrícola

Objetivos

- ✓ Identificar las características del suelo y su importancia en el agroecosistema.
- ✓ Conocer el papel de la materia orgánica en el suelo y su evolución.
- ✓ Establecer las propiedades físicas, químicas y agronómicas de un suelo relacionándolas con la planificación y el manejo de los cultivos.
- ✓ Aprender a realizar tomas de muestras y a prepararlas para su posterior estudio.
- ✓ Familiarizarse con las técnicas básicas cualitativas y cuantitativas de análisis de suelos.
- ✓ Distinguir los objetivos y los parámetros de los análisis de suelo realizados en laboratorio.

Mapa conceptual



Glosario

Adsorción. Proceso por el cual átomos, iones o moléculas son retenidos en una superficie.

Anaerobiosis. Estado de ausencia de aire (oxígeno). En el suelo, es resultado de la compactación o la hidromorfía.

Coloide. Mezcla formada por partículas microscópicas en estado sólido (fase dispersa) que están dispersas en una sustancia (fase fluida o dispersor).

Complejo arcillo-húmico. Elemento estructural del suelo, resultado de la unión de partículas de arcilla y humus, aglutinadas con puentes de calcio. Es la base de la fertilidad del suelo.

Costra superficial. Capa externa o recubrimiento endurecido del suelo, que reduce drásticamente la capacidad de infiltración del agua. Se produce por compactación y sellado de los poros.

Edafogénesis. Proceso de formación de un suelo.

Hidromorfía. Estado permanente o temporal de saturación de agua en el suelo, que lleva asociado anaerobiosis o falta de oxígeno.

Horizonte petrocálcico. Horizonte del suelo cálcico endurecido o cementado por carbonato cálcico. No penetrable por las raíces.

Ósmosis. Proceso físico por medio del cual se regula el paso de una solución líquida a través de una membrana, y que tiene lugar al existir diferentes concentraciones de elementos disueltos a un lado y otro de la membrana.

3.1. Introducción

El *suelo* es la fina capa fértil que recubre la superficie de la Tierra. Es el medio sobre el que viven la mayoría de las plantas silvestres y cultivadas, si bien no es únicamente un soporte físico de las mismas. Lo que ocurre en su seno influye de manera determinante en la productividad de las plantas y en su salud. El suelo es un medio dinámico y relativamente frágil, que debe concebirse como un verdadero ecosistema, donde se desarrollan relaciones complejas entre sus componentes. Es imprescindible para todo cultivador conocer sus características y su funcionamiento.

Figura 3.1
Los suelos pueden afectarse gravemente si se manejan sin una planificación reflexionada. En la figura se observa un suelo labrado y desnudo, expuesto a agentes ambientales y a la erosión.

Recurso electrónico 3.1

En el anexo web 3.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los fundamentos de los procesos de formación del suelo o *edafogénesis*.

3.1.1. El perfil del suelo y sus horizontes

Como resultado de la actuación de los procesos de edafogénesis, el suelo adquiere una disposición estratificada en capas u horizontes diferentes por su color, textura, estructura, consistencia, presencia de materia orgánica, precipitaciones, etc. La caracterización y nomenclatura de los horizontes que conforman el perfil de un suelo es fundamental para la descripción del mismo. Los horizontes principales y más frecuentes en un suelo son, de menor a mayor profundidad:

1. *Horizonte H:* capa de materia orgánica sin descomponer, que se encuentra saturada de agua por largos periodos de tiempo. Es el horizonte de las turbas.
2. *Horizonte O:* capa de hojarasca y restos de ramas, musgos, etc., frecuente en bosques, solo parcialmente descompuesta. No permanece saturada de agua durante mucho tiempo.
3. *Horizonte A:* horizonte con mayor contenido de materia orgánica que los situados debajo, que además, se encuentra humificada. Más oscuro cuanto mayor contenido en materia orgánica presenta.
4. *Horizonte E.* Horizonte de eluviación, expuesto a un fuerte lavado. Típicamente situado entre un horizonte A y uno B. Suele ser arenoso y de colores muy claros, a veces blanco. Presenta poca estructura.
5. *Horizonte B:* horizonte de iluviación o enriquecimiento. La lluvia, a lo largo del tiempo, va lavando el perfil del suelo, de forma que algunos compuestos pueden llegar a acumularse a determinada profundidad. En estos horizontes de acumulación pueden acumularse arcillas (horizontes argílicos), caliza (horizontes cálcicos y petrocálcicos), sales (horizontes sálicos), etc.
6. *Horizonte C:* roca original desintegrada, sin desarrollo de estructura.
7. *Horizonte R:* material original. Roca dura.

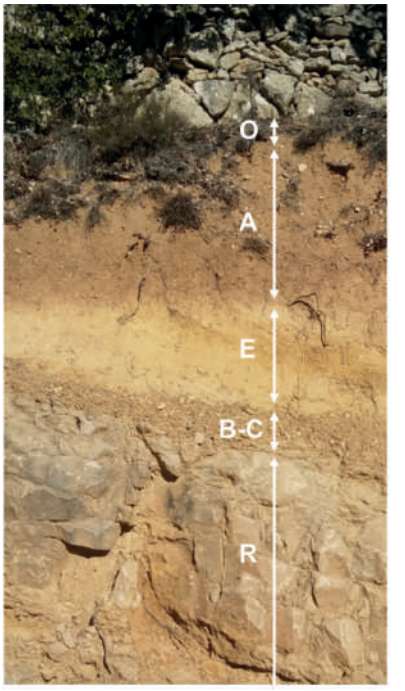


Figura 3.2
Perfil de un suelo en el que se indican los horizontes principales.
Fuente: Colomer, C.

RECURSO WWW

En la página web de edafologia.net, del Dr. C. Dorronsoro, encontrarás información muy completa acompañada de imágenes y actividades para comprender los procesos de formación del suelo y para reconocer y nombrar correctamente los horizontes del perfil de un suelo.

3.1.2. Componentes del suelo

En un suelo desarrollado participan los siguientes componentes:

a) Material geológico original.
b) Materiales minerales disgregados.
c) Agua y minerales disueltos.
d) Gases (oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno...).
e) Materiales orgánicos en diferente grado de descomposición.
f) Materiales orgánicos frescos (restos de hojas y otras partes de plantas, restos de cadáveres de animales de pequeño tamaño, excrementos, etc.).
g) Seres vivos: raíces, bacterias, hongos, insectos, lombrices, etc.

En un suelo agrícola equilibrado, estos componentes se distribuyen aproximadamente de la manera indicada en la figura 3.3.

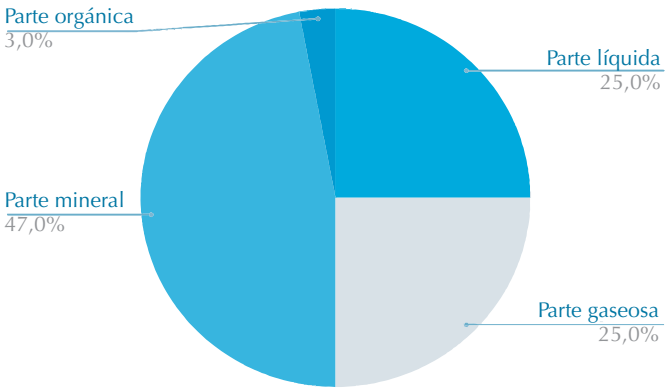


Figura 3.3
Composición media del suelo agrícola.

3.2. Propiedades físicas del suelo

Tanto las propiedades físicas como las químicas del suelo (que están íntimamente relacionadas) determinan su comportamiento agronómico, por lo que es fundamental conocerlas.

3.2.1. Textura

Los suelos están formados por partículas minerales de diferentes tamaños. A los elementos gruesos (mayores de 2 mm) se les considera una *fracción inerte*. Las partículas menores de 2 mm (arena, limo y arcilla) forman la *fracción fina* del suelo y sobre ella se realizan los estudios de suelos, ya que es la que determina las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas de los mismos.

La *textura* del suelo es la proporción de partículas minerales de diferentes tamaños que componen la fracción fina. La figura 3.4 se utiliza para definir *clase textural* de un suelo dependiendo del porcentaje de arenas, arcillas y limos de su fracción fina.

CUADRO 3.1
Tipos y tamaño de las partículas minerales del suelo

Tipo de partícula	Diámetro (mm)
Elementos gruesos	Mayor de 2
Arena	Entre 2 y 0,02
Limo	Entre 0,02 y 0,002
Arcilla	Menor de 0,002

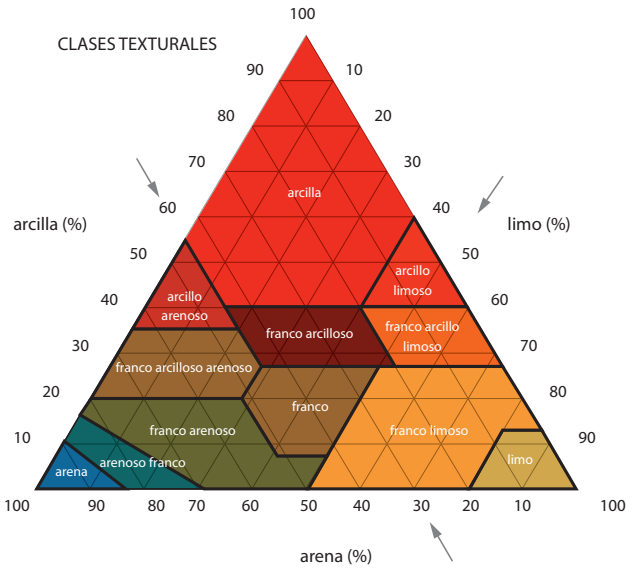


Figura 3.4
Triángulo de clasificación de suelos por texturas según la USDA. Las flechas indican la dirección de entrada de datos.

Según su clase textural, cabe esperar unos rasgos determinados en cuanto al comportamiento agronómico de un suelo:

a) *Suelos arenosos*: tienen menos del 10 % de la fracción de limo más la de arcilla. No son suelos adherentes ni plásticos, por lo que no muestran cohesión entre sus partículas. Presentan una gran cantidad de poros grandes (*macroporos*) por lo que su aireación y circulación del agua es muy elevada. Su capacidad de retención de agua es muy limitada. Su fertilidad es muy baja y tienen una velocidad de mineralización de la materia orgánica alta. Son fáciles de labrar y no presentan dificultades para el enraizamiento de los cultivos.

b) *Suelos arcillosos*: contienen más de un 60 % de limo más arcilla. Son adherentes y plásticos. Contienen gran cantidad de poros, pero generalmente de pequeño tamaño (*microporos*), a no ser por la actividad del suelo (lombrices, raíces de plantas, etc.), por lo que tienen problemas de aireación, excesiva retención de agua y baja permeabilidad, con riesgo de compactación y dificultad para ser labrados. Su principal ventaja es la elevada actividad química de las arcillas, que es la base de la fertilidad.

c) *Suelos limosos:* tienen un contenido en limo muy elevado (más del 80 %). Son suelos adherentes pero no plásticos. Aúnan las propiedades negativas de los suelos arcillosos, pero sin presentar actividad química, por lo que son poco recomendables para el cultivo, al ser normalmente poco fértiles.

d) *Suelos francos:* presentan una proporción de arena del 40-60 % y una de arcilla menor del 25 %, siendo el resto de limo. Es la textura más apta para el cultivo, ya que es la que presenta un comportamiento más equilibrado.

Figura 3.5
Si bien la presencia de elementos gruesos (gravas y piedras) no influye en la textura de un suelo, sí aporta problemas en el laboreo, en el crecimiento de las raíces y en el riesgo de erosión. En contrapartida, pueden mejorar la aireación del suelo.

Fundamental

- ✓ Todas las partículas del suelo dejan entre sí espacios que pueden rellenarse de aire o de agua, denominados *poros*. Si los huecos o poros son grandes (*macroporos*) acumulan principalmente aire, mientras que los pequeños (*microporos*) acumulan agua. Como las raíces de las plantas respiran y toman el oxígeno del suelo, es necesario que se mantenga en él una cantidad de poros grandes que aseguren el suministro gaseoso.
- ✓ Un suelo arcilloso, con poros pequeños, tiene poca aireación y mucha retención de agua, mientras que uno arenoso acumula más aire pero retiene poca cantidad de agua.
- ✓ Cada parcela determinada tiene un suelo con una textura dada y no todas las especies vegetales crecerán adecuadamente. Según la clase textural, debe decidirse qué especies pueden plantarse y qué técnicas deben emplearse para aprovechar las potencialidades de un suelo concreto y para reducir los efectos negativos de algunas de sus características.

Actividad propuesta 3.1

Ayudándote del triángulo de texturas (figura 3.4), indica la clase textural de los siguientes suelos, atendiendo a la composición de su fracción fina. ¿Qué características presentarán estos suelos?

Arena: 35 %	Limo: 35 %	Arcilla: 30 %
Arena: 75%	Limo: 15 %	Arcilla: 10 %

Pon un ejemplo de composición posible en arena, limo y arcilla de un suelo franco.

3.2.2. Estructura del suelo

La *estructura del suelo* es la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla, asociándose entre sí formando *agregados*, que a su vez se agrupan en grumos más grandes (*terrones*). Los agregados formados dejan entre sí espacios porosos de diferentes tamaños (los llamados *macroporos* y *microporos*), dependiendo, fundamentalmente, de la textura del suelo.

La agregación de las partículas finas del suelo se produce gracias a la acción del llamado *complejo arcillo-húmico,* que permite la cohesión entre las diferentes partículas que forman la fracción fina del suelo. El complejo arcillo-húmico está formado por partículas coloidales de arcilla y humus, que se encuentran cargadas negativamente, y que en presencia de calcio se coagulan (floculan), formando una masa de aspecto gelatinosa. La floculación tiene lugar gracias a que los iones Ca^{2+} establecen puentes entre las cargas negativas de la superficie de las partículas coloidales, dando lugar a una estructura tridimensional.

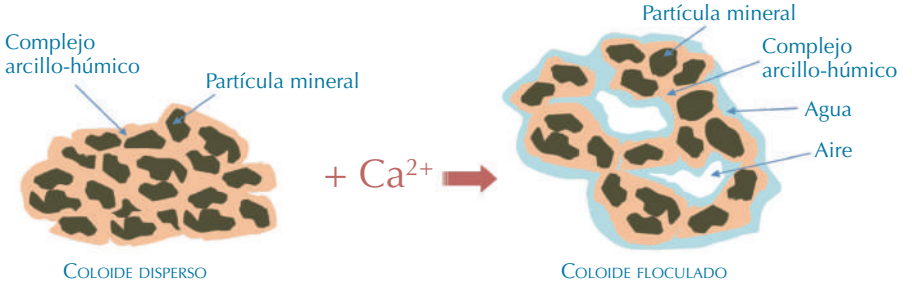


Figura 3.6
Formación de la estructura del suelo.

La actividad biológica del suelo es fundamental en la formación y mantenimiento de la estructura. Los micelios de los hongos y las sustancias mucilaginosas segregadas por las bacterias contribuyen a su estabilidad.

Los agregados pueden presentarse en diferentes formas y tamaños, que configuran el tipo de estructura, que se manifiesta cuando el suelo está seco. Cuando está mojado, las grietas desaparecen y la estructura no es observable.

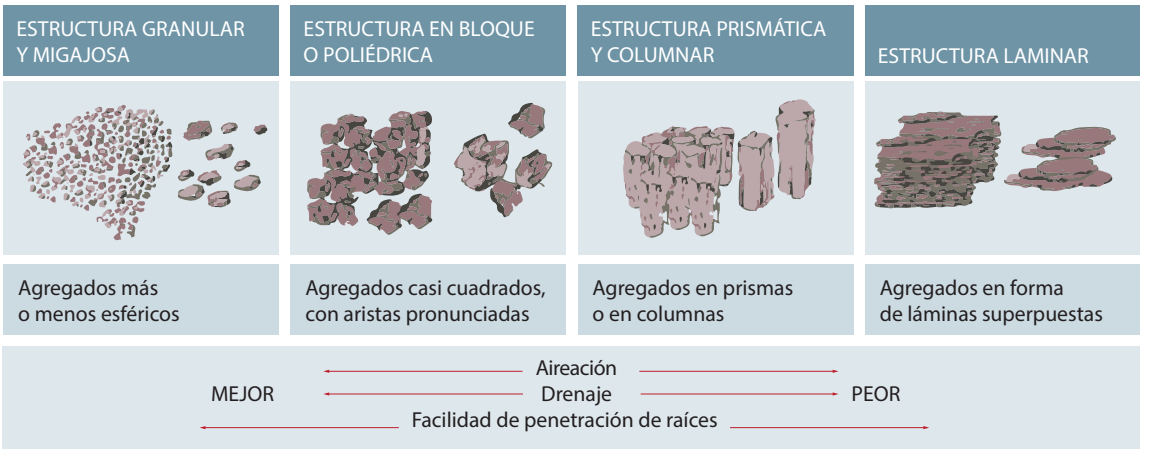


Figura 3.7
Principales tipos de estructura del suelo.

Un suelo con una buena estructura tiene un óptimo comportamiento agronómico: fertilidad, aireación, retención de agua, actividad microbiana, resistencia ante la erosión, etc. El deterioro de la estructura del suelo conduce a una disminución de la porosidad, aparición de costra superficial, disminución de la permeabilidad y del drenaje, aumento de escorrentía superficial y pérdida de estabilidad, así como a una disminución de la capacidad de almacenamiento de agua. El mantenimiento y mejora de la estructura del suelo debe ser uno de los objetivos principales en la planificación del manejo del suelo. La pérdida de materia orgánica y de actividad biológica, la descalcificación y las acciones mecánicas como el laboreo intensivo o con maquinaria pesada afectan muy negativamente a la estructura.

3.2.3. La materia orgánica en el suelo

La materia orgánica del suelo es un conjunto variable y heterogéneo de residuos orgánicos en diversos grados de transformación, proveniente de la actividad y muerte de todos los organismos que allí se desarrollaron, y de las aportaciones realizadas mediante abonos o enmiendas orgánicas.

Los componentes básicos de la materia orgánica fresca aportada al suelo (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, ácidos orgánicos, etc.), se transforman por acción microbiana (*Rhizobium*, *Bacillus*, cianobacterias…) pasando a formas inorgánicas simples, bien solubles (como PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, NO_3^-, etc.) o bien gaseosas (CO_2, NH_3). A esta transformación se le denomina *mineralización*.

La fracción de materia orgánica que no se mineraliza en esta primera etapa es sometida por los microorganismos a diferentes reacciones que dan lugar a moléculas de estructura compleja y composición química variable, en un proceso conocido como *humificación*. Las sustancias húmicas resultantes, si bien presentan una gran estabilidad, se mineralizan lentamente con el paso del tiempo.

Figura 3.8
Procesos de transformación de la materia orgánica en el suelo.

La presencia y la forma en la que se encuentra la materia orgánica en un suelo determinan sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y, por lo tanto, su comportamiento agronómico.

PARA SABER MÁS

Las sustancias húmicas obtenidas mediante humificación pueden ser:

- Ácidos húmicos: sólidos amorfos de color oscuro. Constituyen la fracción más importante del humus. Son poco solubles en agua y forman los *coloides* (sustancias que al entrar en contacto con el agua se quedan en suspensión).
- Ácidos *fúlvicos:* sólidos o semisólidos de color amarillento, muy solubles en agua.
- *Huminas:* representan la fracción más pequeña del humus. Son insolubles en agua.

CUADRO 3.2
Efectos de la materia orgánica humificada en las propiedades del suelo

Propiedades físicas	– Facilita el calentamiento del suelo, reduce las oscilaciones térmicas. – Agrega partículas, cohesiona suelos arenosos. – Aligera suelos arcillosos. – Aumenta la estabilidad estructural. – Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa. – Mejora la retención de agua. – Facilita el drenaje. – Reduce la erosión.
Propiedades químicas	– Aumenta el poder tampón de los suelos frente a pH o a contaminantes. – Aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC). – Forma humus y quelatos (Cu, Mn y Zn). – Origina elementos nutritivos. – Influye en la actividad y la persistencia de plaguicidas.
Propiedades biológicas	– Favorece la germinación de las semillas. – Activa el crecimiento de las raíces. – Regula la actividad microbiana. – Proporciona energía para microorganismos.

Fuente: adaptado de Labrador, J., 1996 y Urbano, P., 1999.

El contenido en materia orgánica de un suelo se expresa como porcentaje con respecto a suelo seco. Es mayor en las capas más superficiales del suelo y disminuye drásticamente con la profundidad. Los valores de referencia son los que pueden apreciarse en el cuadro 3.3.

CUADRO 3.3
Caracterización de los niveles de materia orgánica oxidable de un suelo

Contenido en el suelo	Materia orgánica oxidable (%)	Recomendaciones
Muy bajo	Inferior a 1	Elevar hasta 2 %

[.../...]

Cuadro 3.3 (cont.)

Contenido en el suelo	Materia orgánica oxidable (%)	Recomendaciones
Bajo	De 1 a 2	Elevar o mantener en 2 % en secano. Aumentar hasta 3 % en regadío
Medio	De 2 a 3	Elevar o mantener en 3 % en regadío extensivo
Alto	De 3 a 4	Adecuado en regadío intensivo
Muy alto	Superior a 4	Propios de pastos o en el norte de la península ibérica

Fuente: adaptado de FAO y MAGRAMA.

Recuerda

- ✓ Un aspecto importante que debe considerarse a la hora de valorar la materia orgánica que se encuentra en el suelo es el equilibrio entre la humificación y la mineralización, lo que puede ser caracterizado mediante la relación C/N que presenta. Una relación C/N elevada (superior a 12), indica una excesiva actividad de los microorganismos humificadores. Si la relación C/N es inferior a 8, hay un exceso de mineralización, con lo que el contenido en materia orgánica será escaso, y también la fertilidad.
- ✓ La presencia de materia orgánica en un suelo debe situarse en torno al 3 %, con una relación de C/N cercana a 10 (8-12).
- ✓ No hay que olvidar el papel clave de la materia orgánica y de la actividad biológica en la formación de la estructura y, por tanto, en la fertilidad de los suelos.

3.2.4. El agua en el suelo

Las plantas obtienen del suelo la mayor parte del agua que necesitan. Un suelo con una adecuada capacidad de almacenamiento de agua favorece el mantenimiento del estado hídrico óptimo de los cultivos y permite reducir la frecuencia de los aportes de agua mediante riego.

A) Formas de agua en el suelo

El agua que se encuentra en el suelo está en distintas formas, no todas ellas aprovechables por las plantas:

1. *Agua de higroscopicidad y agua de imbibición:* fijada por las arcillas y el humus. Es difícil de medir y prácticamente no es utilizable por las plantas. Puede ser importante en suelos muy ricos en materia orgánica.
2. *Agua capilar:* retenida en los poros (microporos) y sobre la superficie de las partículas del suelo. Al ser retenida con menos fuerza, puede ser absorbida por las plantas.

3. *Agua libre o de gravedad:* es aquella que ocupa los macroporos hasta que escurre por gravedad.

Si el suelo no puede drenar por la presencia de alguna capa impermeable a cierta profundidad, se produce su saturación, quedando los poros (macroporos y microporos) completamente llenos de agua, con el consiguiente riesgo para las plantas de asfixia radical. La cota superior que alcanza el agua en un suelo saturado se conoce como *nivel de la capa freática*.

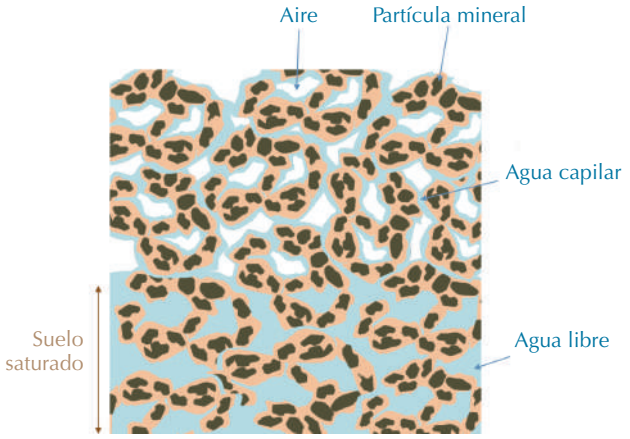


Figura 3.9
Formas de agua en el suelo.

Para estudiar los diferentes niveles de agua capilar en el suelo se definen los siguientes conceptos:

- *Capacidad de campo (CC):* estado que alcanza el suelo saturado tras dejar que el agua libre o de gravedad haya drenado. En el estado de capacidad de campo los microporos contienen agua, mientras los macroporos están fundamentalmente llenos de aire. Esta situación es la más favorable para el desarrollo de los cultivos, pues hay un adecuado nivel de aireación y el agua puede ser absorbida sin un gasto importante de energía.
- *Punto de marchitez (PM):* estado en el que el contenido en agua en el suelo es tan escaso que las plantas apenas pueden absorber el agua, llegando a sufrir deshidratación severa.
- *Agua útil (AU):* diferencia entre el agua en capacidad de campo y el agua en punto de marchitez. Es el agua disponible para el cultivo.

$$AU = CC - PM$$

Los valores de CC, PM y AU se expresan como porcentaje con respecto al peso de suelo seco. Así, una capacidad de campo del 25 % significa que 100 g de tierra seca retienen 25 g de agua, y una marchitez del 15 % indica que, cuando se alcanza la marchitez de la planta, el suelo tiene 15 g de agua por cada 100 g de tierra seca. En este caso, el agua útil sería, por lo tanto, de 10 g de agua por cada 100 g de tierra seca.

Cuanto más fina es la textura del suelo, mayores son los valores de CC y PM. La estructura del suelo mejora, asimismo, la fracción de agua útil, ya que aumenta la presencia de microporos.

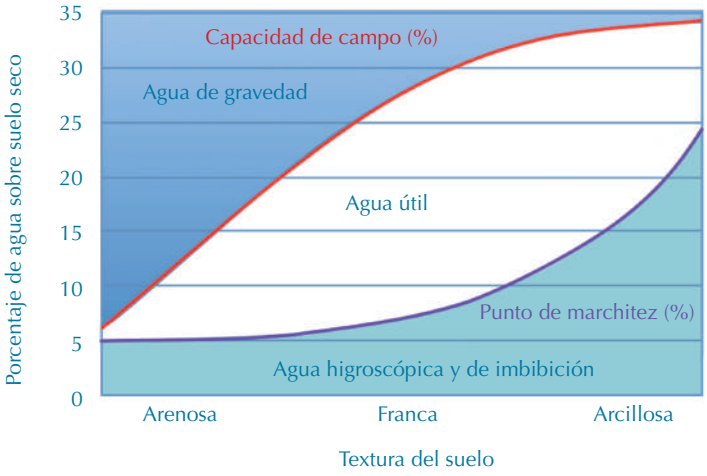


Figura 3.10
Distribución de las fracciones de agua en el suelo en función de la textura.
Fuente: adaptado de Portal de Suelos de la FAO, 2018.

B) Balance de agua en el suelo

El *balance de agua del su*elo es la cantidad que resulta de restar las pérdidas a las ganancias de agua, y es, en definitiva, el agua que está disponible para las plantas en un determinado momento.

Balance de agua del suelo = entradas de agua – pérdidas de agua

Las *entradas* de agua en un suelo agrícola son:

- Precipitación en forma de lluvia, nieve o granizo.
- Precipitación oculta en forma de rocío, etc.
- Ascenso del agua por capilaridad desde la capa freática.
- Aportes mediante sistemas de riego.

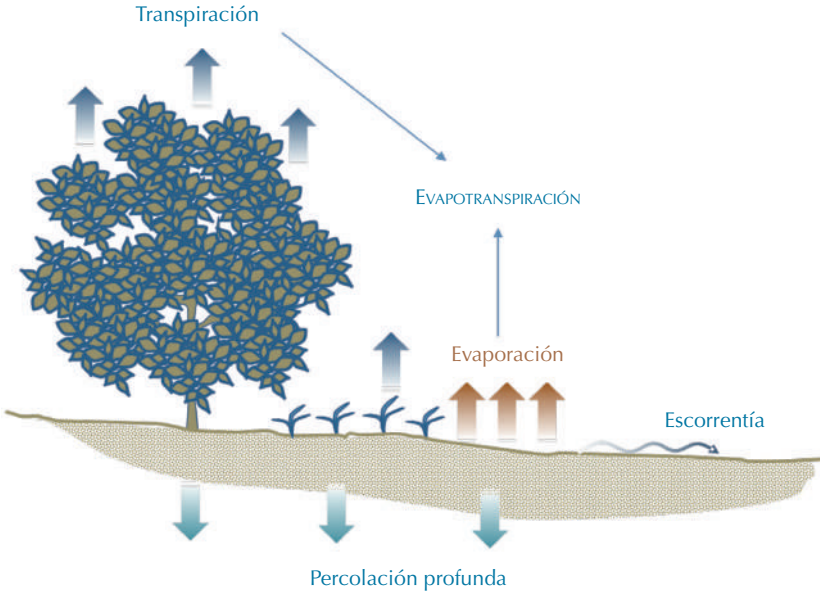


Figura 3.11
Pérdidas de agua en un suelo.

Las *pérdidas* de agua en un suelo se producen por:

- *Evapotranspiración:* suma del agua perdida por transpiración de las plantas más la evaporada por la superficie del suelo.
- *Escorrentía:* agua que cae sobre la superficie del suelo por precipitación o riego, pero que no se infiltra, sino que circula sobre la superficie del mismo.
- *Percolación profunda:* agua que se infiltra hasta una profundidad no alcanzable por las raíces del cultivo. Es el agua libre o de gravedad.

3.3. Propiedades químicas del suelo

Las características químicas (o fisicoquímicas) más importantes del suelo desde el punto de vista agronómico son el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la salinidad.

3.3.1. La solución del suelo

La *solución del suelo* es el agua existente en el suelo y las sales minerales disueltas en ella, muchas de las cuales son nutrientes para la planta. Las sales disueltas se disocian en una parte con carga positiva (cationes) y otra con carga negativa (aniones). Estas sales son el resultado de la mineralización de la roca madre y de la descomposición de la materia orgánica, pero pueden tener su origen también en el agua de riego, o acumularse por capilaridad o por la adición de fertilizantes.

CUADRO 3.4
Iones más comunes en la solución del suelo

Cationes	Aniones
Amonio* (NH_4^+)	Nitrato* (NO_3^-)
Potasio* (K^+)	Fosfato* (PO_4^{3-} , PO_4^{2-} , $PO_4H_2^-$)
Calcio* (Ca^{2+})	Sulfato* (SO_4^{2-})
Magnesio* (Mg^{2+})	Carbonato (CO_3^{2-})
Hidrógeno (H^+)	Cloruro (Cl^-)
Sodio* (Na^+)	
Hierro* (Fe^{2+})	
Manganeso* (Mn^{2+}), Zinc* (Zn^{2+}), Aluminio (Al^{3+}), etc.	

Nota: los que llevan asterisco (*) son elementos nutritivos para los cultivos.

Los cationes pueden ser retenidos o adsorbidos por las partículas del complejo arcillo-húmico debido a que estas tienen cargas negativas en su superficie. Por ello, a estas partículas se les denomina *complejo de cambio* o *complejo adsorbente* del suelo.

Los cationes adsorbidos se intercambian con los disueltos en la solución del suelo, y a la inversa, en un equilibrio dinámico. Las raíces de las plantas solo pueden absorber nutrientes cuando se encuentran en la solución del suelo. Los cationes adsorbidos son una reserva de nutrientes en el suelo.

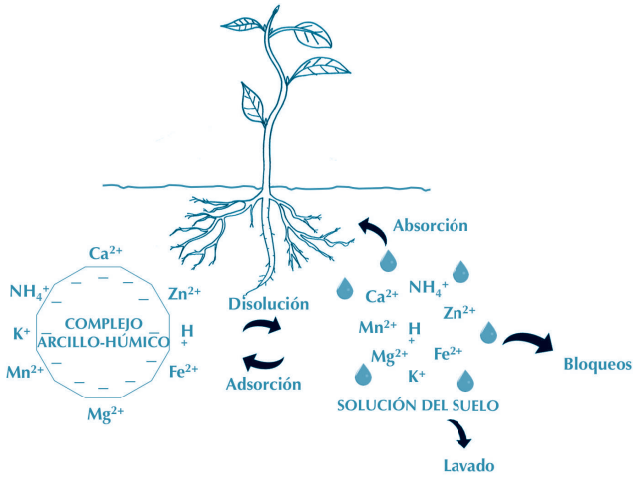


Figura 3.12
Movimiento de los iones en el suelo.

3.3.2. El pH del suelo

La *acidez (*o *basicidad*) de un suelo indica el comportamiento químico que tiene el suelo con los elementos orgánicos o minerales que allí existen, y es función de la cantidad de cationes hidrógeno (H^+) que hay disponibles en la solución del suelo. Se expresa por medio de unidades de pH. Los valores de pH oscilan de 0 a 14, siendo 7 el valor de un pH neutro.

El crecimiento de las plantas se ve fuertemente influenciado por las condiciones de pH del suelo. Suelos con valores de pH extremos pueden perjudicar a la biología del suelo o dificultar la absorción de nutrientes por las plantas, tal como se observa en la figura 3.13.

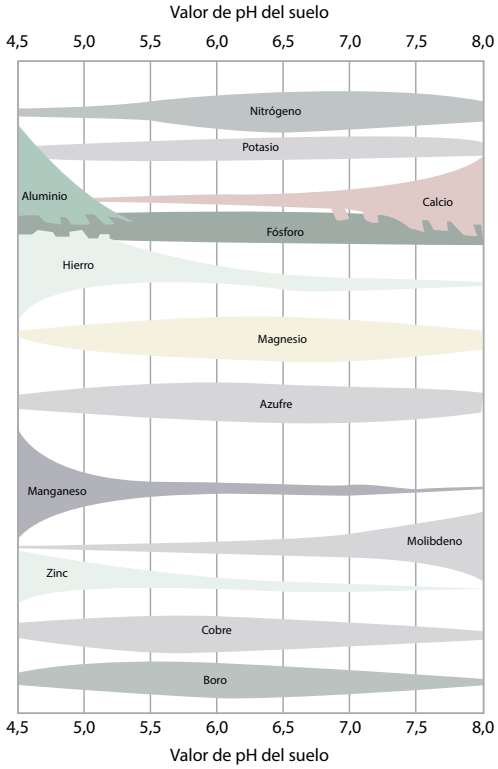


Figura 3.13
Disponibilidad de nutrientes en relación con el pH del suelo según la Kentucky Experimental Station. Los elementos entrelazados forman compuestos insolubles.
Fuente: López, E. y Miñano, F., 1998.

Los cultivos presentan una significativa variación en la tolerancia al pH del suelo, lo que permite seleccionar aquellos más adecuados para una condición de suelo dada o enmendar la condición de pH para hacerla adecuada a la especie.

CUADRO 3.5
Clasificación de los suelos en función del pH

Tipo de suelo	pH	Observaciones
Muy ácidos	Inferior a 5,5	Dificultad en el desarrollo de la mayoría de los cultivos. Carencias de Ca y P. Cultivos muy tolerantes a la acidez: patata, sandía, hinojo…
Ácidos	De 5,5 a 6,5	Inmovilización de N y B. Problemas de toxicidad por Al y Mn. Cultivos tolerantes a la acidez: ajo, berenjena, tomate, pimiento, col, nabo y zanahoria
Neutros o cercanos a la neutralidad	De 6,5 a 7,5	Óptimo para la mayoría de los cultivos
Básicos o alcalinos	De 7,5 a 8,5	Inmovilización de Fe, Mn, Zn. Alto contenido en Ca y Mg
Muy básicos o muy alcalinos	Superior a 8,5	Dificultad en el desarrollo de la mayoría de los cultivos. Indican casi siempre más de un 15 % PSI. Exceso de Na y K

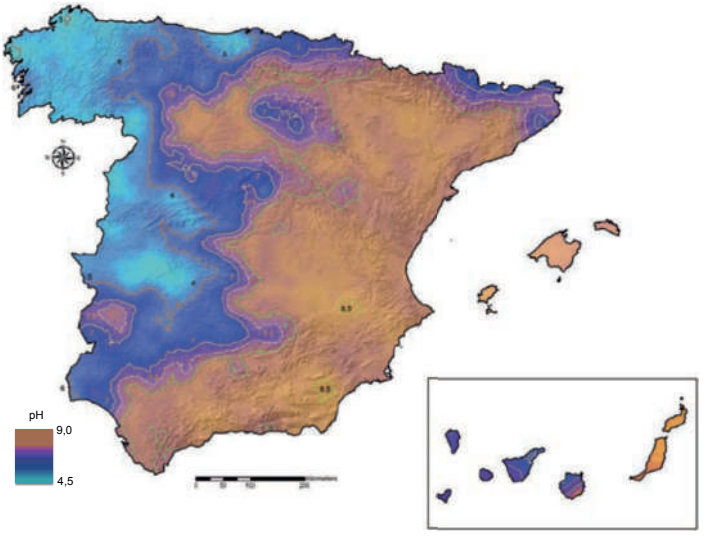


Figura 3.14
Distribución del pH en los suelos de España.
Fuente: Rodríguez *et al.*, 2009.

3.3.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El complejo arcillo-húmico es el principal componente del suelo que proporciona capacidad de adsorber los nutrientes, actuando a modo de despensa, atrayendo en su superficie, cargada negativamente, a los cationes, evitando que se pierdan en profundidad por lixiviación o lavado.

Como ya se ha explicado, los nutrientes disueltos en la solución del suelo están en equilibrio con los que existen retenidos por el complejo adsorbente, liberándose de este cuando son eliminados de la solución por las plantas. De esta manera, se mantiene un suministro continuo y moderado que pasa a disponibilidad de las plantas.

La *capacidad de intercambio catiónico* (CIC) es la capacidad que tiene un suelo de retener cationes por unidad de masa del suelo (realmente no indica la cantidad de cationes retenidos). Se expresa en miliequivalentes/100 g de suelo (meq/100 g), que es una medida de la fertilidad de un suelo, aunque indica la capacidad de retener iones tanto nutritivos como los que no lo son.

Recuerda

✓ La CIC de un suelo aumenta con su contenido en arcillas y materia orgánica. Valores por debajo de 5 meq/100g indican baja fertilidad, mientras que valores por encima de 30 meq/100g son propios de un suelo excesivamente arcilloso o con demasiada materia orgánica.

3.3.4. Salinidad

La *salinidad* de un suelo es la cantidad de sales solubles totales presentes en el mismo. El origen de las sales acumuladas en exceso en el suelo suele ser el agua de riego o el ascenso por capilaridad desde horizontes salinos o capas freáticas con agua salina. También puede provocar un exceso de salinidad el aporte de fertilizantes minerales.

Un exceso de sales disueltas en la solución del suelo tiene efectos negativos sobre los cultivos y sobre el mismo suelo, ya que:

a) La presencia de sales aumenta el potencial osmótico de la solución del suelo, con lo que las plantas tienen que efectuar un esfuerzo metabólico importante para obtener la energía necesaria para la absorción de agua, debido a que por ósmosis, una concentración tan salada atraviesa difícilmente las membranas de las células de las raíces. Esta energía se utiliza en detrimento de otras funciones que también requieren energía como el crecimiento, la floración, etc.

b) Algunas sales son fitotóxicas en determinadas concentraciones (Cl, Na...).

c) Algunas sales provocan antagonismos, ya que la presencia de un elemento en exceso puede dificultar que se absorba otro (Cl^- con NO^{3-}, Ca^{2+} con Mg^+ y K^+, etc.).

d) Causan problemas de obstrucciones en los sistemas de riego localizado (por precipitación de las sales).

e) Provocan problemas de infiltración del agua en el suelo: un alto contenido de sodio y bajo de calcio en el suelo hace que sus partículas tiendan a disgregarse, lo que ocasiona una disminución de la velocidad de infiltración del agua.

La salinidad de un suelo se cuantifica a través de la *conductividad eléctrica* medida en la solución del suelo (a más presencia de sales, y a más temperatura, más rápido pasa la corriente). Se mide con conductivímetros en su extracto de saturación, a 25 °C (CE_{es}) y se expresa en

milimhos por centímetro (mmho/cm) o en deciSiemens por metro (dS/m), que son unidades equivalentes.

CUADRO 3.6
Clasificación de los suelos en función de su salinidad (CE en el extracto de saturación a 25 °C)

Tipo de suelo	CE es 25 (dS/m)
Ligeramente salino	De 2 a 4
Medianamente salino	De 4 a 8
Fuertemente salino	De 8 a 16
Extremadamente salino	Más de 16

Un suelo salino puede reconocerse visualmente por la presencia de costra blanquecina o cristales en su superficie. También pueden observarse síntomas característicos en las plantas, como marchitez y falta de crecimiento, a pesar de no faltar agua, ápices de las hojas quemados o amarilleamiento.

El principal catión responsable de los problemas de la salinidad en el suelo es el sodio (Na^+). Por ello, se cuantifica la proporción relativa de sodio en el complejo de cambio en lo que se conoce como el *porcentaje de sodio intercambiable* (PSI).

$$\text{PSI}\,(\%) = \frac{Na^+}{\text{CIC}} \times 100$$

En la fórmula, las concentraciones de los diferentes cationes se expresan en meq/100 g.

El valor de PSI debe ser lo más bajo posible, aunque valores por debajo del 15 % se consideran aceptables. Si presentan valores por encima de este valor, los suelos se clasifican como *suelos sódicos*. Consulta el cuadro 3.6 para ver la clasificación de los suelos con respecto a su salinidad (CE_{es}) y a su PSI, así como las características que presentan y los tratamientos que se aconsejan para su rehabilitación.

Dado que la medición de PSI no siempre es conocida, en muchos laboratorios se utiliza la relación de absorción de sodio (RAS), que se mide en el extracto de saturación, como índice de la salinidad del suelo. El índice RAS indica la proporción en que se encuentran los cationes de Na con respecto a los de Ca y Mg, que contrarrestan, en parte, los efectos del Na en la estructura del suelo. Este índice viene definido por la siguiente fórmula (RAS ajustado):

$$\text{RAS} = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} representan, respectivamente, las concentraciones de los iones de sodio, calcio y magnesio del extracto de saturación del suelo, expresadas en meq/l.

Cuanto más bajo sea el valor de RAS, mejor; aunque se considera un valor aceptable si es menor de 6 y demasiado elevado si es mayor de 10.

Actividad propuesta 3.2

Contesta las siguientes preguntas, razonando las respuestas:

a) ¿Por qué la mayoría de los síntomas de salinidad de un suelo son coincidentes con los de sequía?
b) ¿Cómo puede evitarse el fenómeno de ascenso por capilaridad de sales en el suelo?
c) ¿Cómo afecta la salinidad a la fracción de agua útil presente en el suelo?
d) ¿Cómo afecta la presencia relativa de sodio en el suelo y cómo puede medirse?

3.4. Propiedades biológicas del suelo

En el suelo habitan multitud de seres vivos. Cada uno cumple una función dentro del ecosistema y, por tanto, son necesarios para mantener su estabilidad y sus propiedades agronómicas, como la fertilidad. De todos estos organismos, los más numerosos son las bacterias, de las cuales puede haber en un solo metro cuadrado de suelo (espesor 30-40 cm) hasta 5,5 billones de individuos, lo que es equivalente a más de cinco toneladas de seres vivos por hectárea. En cuanto a las lombrices, en una profundidad de 30-40 cm puede haber de 50 a 400 lombrices en un solo metro cuadrado, lo que supone una tonelada por hectárea, aproximadamente. Sin embargo, en un suelo agrícola que ha sido sometido a prácticas muy agresivas y extractivas, la presencia de organismos se reduce de manera drástica.

La multitud de microorganismos que se encuentran en el suelo, sobre todo en la *rizosfera* (parte del suelo en contacto con las raíces, donde se acumulan más secreciones radiculares), se relaciona con las plantas de diferentes formas: *saprofítica* (se alimentan de las raíces en descomposición), *parásita* (causan enfermedades a las plantas) o *simbiótica* (proporcionan un beneficio a las plantas a cambio de alimento). De entre los organismos simbióticos con las raíces de las plantas destacan los que fijan el nitrógeno atmosférico, los que excretan activadores de crecimiento y los hongos micorrícicos.

En resumen, los procesos más importantes que llevan a cabo los organismos del suelo son:

a) *Procesos físicos:* las lombrices, por ejemplo, aumentan la porosidad y, por lo tanto, mejoran la aireación y el drenaje. También contribuyen a esto los topos y los ratones.
b) *Procesos bioquímicos:* en este caso, las bacterias son los principales actores. Hay innumerables contribuciones de los microorganismos a la química del suelo, destacándose la humificación, la solubilización o mineralización y la transformación y fijación de nitrógeno:

Cuadro 3.7
Procesos bioquímicos en los que intervienen los microorganismos del suelo

Proceso	Organismos que intervienen	Descripción del proceso
Humificación	Lombrices y bacterias humificantes	Transformación de materia orgánica fresca en humus
Solubilización de la urea	Organismos productores de ureasa: *Bacillus, Clostridium…*	Las bacterias producen la enzima ureasa, necesaria para que la urea ($CO(NH_2)_2$) se transforme en amonio (NH^{4+})

[…/…]

CUADRO 3.7 (CONT.)

Proceso	Organismos que intervienen	Descripción del proceso
Amonificación	Amonificantes	Transformación del N orgánico en amonio (NH^{4+})
Nitrificación	Nitrificantes: *Nitrobacter, Nitrosomas…*	Transformación del amonio (NH^{4+}) en nitrato (NO^{3-}), que es la forma en que las plantas absorben el N
Fijación de N en simbiosis	Fijadoras de N: *Rhizobium, Azotobacter…*	Fijación de N en simbiosis con raíces de leguminosas
Solubilización del P, S, K...	Organismos productores de enzimas: *Bacillus, Pseudomonas Aspergillus, Penicillium…*	Las enzimas liberadas permiten las reacciones que transforman compuestos insolubles en formas solubles de distintos elementos nutritivos

En la zona aeróbica del suelo se encuentran bacterias, insectos, hongos, lombrices, etc., mientras que la zona anaeróbica (sin aire) es principalmente colonizada por ciertas bacterias que son capaces de sobrevivir en entornos sin oxígeno.

3.5. Propiedades agronómicas del suelo

En cada finca, e incluso en cada parcela, los suelos tienen unas características que determinan su comportamiento agronómico, y que deben ser tenidas en cuenta para la planificación de los cultivos que se implanten y de las técnicas de producción que se vayan a aplicar, teniéndose siempre como objetivos la mejora o el mantenimiento de sus características. Las propiedades agronómicas del suelo son el resultado de las propiedades físicas, químicas y biológicas descritas; a continuación se profundizará en las más importantes.

3.5.1. Profundidad efectiva

Es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin excesivo esfuerzo. La *profundidad* de un suelo determina el volumen de agua y los nutrientes disponibles, así como la posibilidad de crecimiento y el arraigo en el suelo. En un suelo profundo las plantas resisten mejor la sequía, ya que a mayor profundidad de raíces, mayor capacidad de retención de humedad. De igual manera, la planta puede usar los nutrientes almacenados en los horizontes profundos del subsuelo, si estos están al alcance de las raíces.

Son varias las condiciones que pueden limitar la profundidad efectiva de un suelo:

a) Presencia de roca madre o material geológico suelto.
b) Presencia de un manto freático cercano a la superficie.
c) Presencia de horizonte petrocálcico: horizonte E con caliza dura.
d) Formación de *suela de labor.*

Cuadro 3.8
Clasificación de los suelos en función de su profundidad efectiva

Tipo de suelo	Profundidad efectiva (m)
Somero	Inferior a 0,25
Poco profundo	De 0,25 a 0,60
Moderadamente profundo	De 0,60 a 1,0
Profundo	Superior a 1

Recuerda

- ✓ Las gramíneas forrajeras presentan un enraizamiento superficial de 10-20 cm.
- ✓ Los cereales de invierno y primavera, las leguminosas de grano y la mayoría de las especies hortícolas (cebolla, lechuga, patata) requieren unos 25-40 cm de profundidad de suelo.
- ✓ Los mayores requerimientos de profundidad los demandan los cultivos industriales (algodón, remolacha, girasol, etc.), algunas leguminosas de grano (habas, cacahuetes) o forrajeras (esparceta, zulla) y determinadas hortícolas (espárrago), con necesidades superiores a 50 cm.

3.5.2. Fertilidad

Se dice que *un suelo es fértil* cuando es capaz de suministrar a las plantas que viven en él, el aire, el agua y los nutrientes que necesitan para desarrollarse, a la vez que favorece el mantenimiento de una alta biodiversidad edáfica.

Para valorar si un suelo es fértil, hay que estudiar las siguientes características:

a) La CIC, que mide la capacidad de almacenar nutrientes en el complejo arcillo-húmico.
b) La existencia de los nutrientes necesarios en el suelo, en formas asimilables.
c) Su capacidad de almacenamiento de agua y aire, relacionado con la porosidad.
d) La presencia de una alta biodiversidad, sobre todo de microorganismos útiles.

3.5.3. Permeabilidad

Es la *propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire,* y está relacionada con su textura y estructura, es decir, con la porosidad. El tamaño de los poros del suelo determina la tasa de *infiltración* (movimiento del agua desde la superficie hacia el interior del suelo) y a la tasa de *percolación* o *drenaje* (movimiento del agua a través del suelo):

a) Cuanto más fina sea la textura del suelo, más lenta será la permeabilidad. Los suelos arcillosos presentan menos permeabilidad que los limosos, y estos menos que los arenosos.

b) La estructura puede modificar considerablemente las tasas de permeabilidad. La estructura laminar presenta menos permeabilidad que la prismática, y esta menos que la granular.

La permeabilidad del suelo suele medirse en función de la velocidad del flujo de agua a través de este durante un periodo determinado. Generalmente, se expresa como índice de permeabilidad, y se mide en cm/h, mm/h o cm/día.

CUADRO 3.9
Clases de permeabilidad de los suelos para la agricultura y su conservación

Clases de permeabilidad de los suelos	Índice de permeabilidad[1]	
	cm/hora	cm/día
Muy lenta	Inferior a 0,13	Superior a 3
Lenta	Entre 0,13 y 0,3	De 3 a 12
Moderadamente lenta	Entre 0,5 y 2	De 12 a 48
Moderada	Entre 2 y 6,3	De 48 a 151
Moderadamente rápida	Entre 6,3 y 12,7	De 151 a 305
Rápida	Entre 12,7 y 25	De 305 a 600
Muy rápida	Superior a 25	Superior a 600

[1] Muestras saturadas bajo una carga hidrostática constante de 1,27 cm.
Fuente: www.fao.org.

La permeabilidad del suelo limita la elección del cultivo o del portainjertos, según su tolerancia a la asfixia radicular. En frutales, por ejemplo, el rango ideal de permeabilidad se sitúa entre 5 y 15 cm/h, con un máximo de 25 cm/h.

En suelos arcillosos, pesados, con drenaje limitado o en aquellos con elevada precipitación las raíces pueden morir o ser gravemente dañadas por falta de oxígeno. Además, en estos suelos son frecuentes los problemas fitosanitarios provocados por *Phytophthora, Armillaria, Pythium,* etc.

CUADRO 3.10
Tolerancia de especies leñosas a la asfixia radicular

Cultivo leñoso	Tolerancia a la asfixia radicular
Cítricos	Intermedia
Aguacate	Sensible
Albaricoquero	Sensible
Almendro	Sensible

[.../...]

Cuadro 3.10 (cont.)

Cultivo leñoso	Tolerancia a la asfixia radicular
Avellano	Sensible
Cerezo	Intermedia
Ciruelo	Intermedia
Chirimoyo	Sensible
Manzano	Tolerante
Melocotonero	Sensible
Membrillero	Muy tolerante
Nogal	Sensible
Olivo	Muy sensible
Peral	Muy tolerante

Fuente: Fernández-Escobar, R., 2018.

3.5.4. Pedregosidad

La *pedregosidad* hace referencia a la presencia en la superficie, o en los primeros horizontes, de fragmentos de roca o piedras grandes (7,5 a 25 cm de diámetro). La presencia de piedras en superficie protege de la erosión y de la evaporación, lo cual es muy interesante en cultivos de secano. Los suelos pedregosos son suelos muy aireados, por lo que la piedra mejora el comportamiento agronómico de algunos suelos arcillosos. Sin embargo, la pedregosidad en los horizontes más superficiales del suelo limita la mecanización y el establecimiento de ciertos cultivos, como los que se aprovechan por sus raíces.

Cuadro 3.11
Clases de pedregosidad de los suelos y sus limitaciones de mecanización

Clases de pedregosidad	Cobertura de la superficie del suelo por las piedras	Presencia de piedras	Limitaciones agronómicas
No pedregoso	Hasta 10 %	Casi sin piedras	No interfiere el laboreo del suelo ni en otras labores de cultivo
Moderadamente pedregoso	Hasta 25 %	Pocas piedras	No interfiere el laboreo, pero puede dificultar otras labores
Pedregoso	Hasta 50 %	Frecuentes	Dificulta el laboreo. Solo permite realizar algunas labores de cultivo

[.../...]

CUADRO 3.11 (CONT.)

Clases de pedregosidad	Cobertura de la superficie del suelo por las piedras	Presencia de piedras	Limitaciones agronómicas
Muy pedregoso	Hasta 75 %	Abundantes	Solo permite maquinaria ligera o manual
Extremadamente pedregoso	Más de 75 %	Muy abundantes. Suelos pedregosos o rocosos	Impide el uso de todo tipo de maquinaria

Fuente: adaptado de www.fao.org.

Figura 3.15
Suelo extremadamente pedregoso en cultivo de viña de secano.
Fuente: www.urbinavinos.com.

3.6. Estudio de las características de un suelo de cultivo

3.6.1. Tipos y objetivos de los análisis de suelos

El proceso de toma de decisiones para la correcta planificación y manejo de los cultivos implica las fases que pueden apreciarse en la figura 3.16.

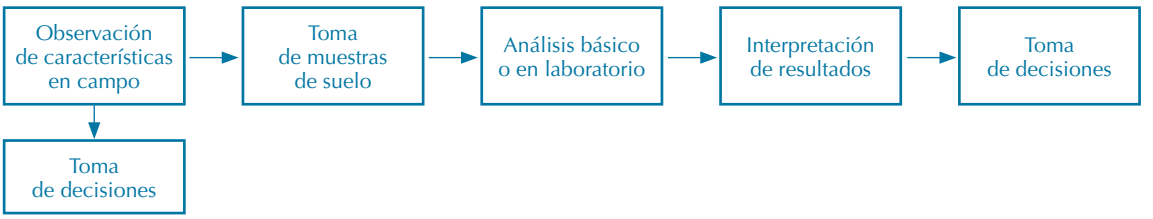


Figura 3.16
Fases en el proceso de observación y análisis de suelos.

El *análisis de suelos* es una herramienta clave para evaluar las aptitudes agronómicas del suelo; y es la base para determinar las acciones correctoras que haya que realizar, seleccionar los cultivos que se vayan a implantar, calcular las dosis y frecuencia de riego, y adecuar las acciones sobre el cultivo y las herramientas y maquinarias que se escoja utilizar.

Hay diversos tipos de análisis o estudios de suelos que pueden realizarse, dependiendo de los objetivos, los parámetros que vayan a estudiarse y la precisión con que se quieran determinar (figura 3.17).

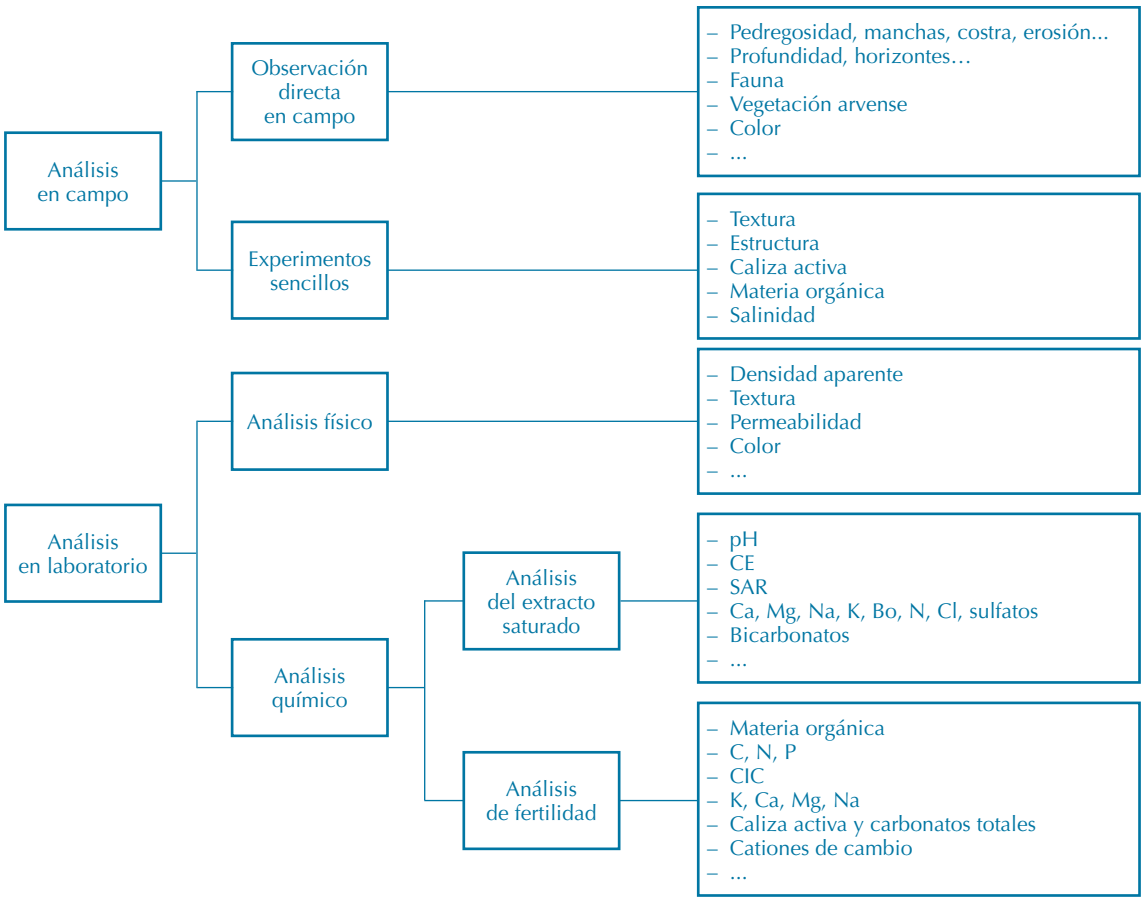


Figura 3.17
Tipos de análisis de suelos y parámetros más frecuentes.

Debe realizarse un análisis completo de suelo en un laboratorio certificado por lo menos una vez antes de implantar el cultivo, siendo recomendable volver a analizar los parámetros más variables con una frecuencia de tres a cinco años.

3.6.2. Observación de las características en campo

El primer paso en el estudio de un suelo es la observación de sus características en campo, que pueden deducirse mediante ciertos signos o indicios:

a) *En superficie:* la presencia de manchas oscuras en la superficie o charcos indican baja permeabilidad. La presencia de costra superficial o precipitaciones blanquecinas pueden ser indicadoras de salinidad. También debe ser observada la pedregosidad y los síntomas de erosión del suelo.

b) *En profundidad:* conviene apreciar la profundidad efectiva y los horizontes que forman parte del perfil. Pueden ser observados fácilmente si hay algún desmonte cercano. Es muy interesante prestar atención a la abundancia de lombrices, insectos y otros animales. A veces la observación no es directa y hay que apoyarse en la detección de canales y pequeñas galerías.
c) *Presencia de materia orgánica:* puede deducirse del color oscuro de los materiales y de la profundidad de la capa de los mismos. La existencia de raíces entre o de los agregados también aporta información.
d) *A través de la flora arvense o espontánea que se encuentra en un campo:* pueden deducirse determinadas características del suelo, actuando las especies como verdaderas bioindicadoras, como las que se indican en la cuadro 3.12.

CUADRO 3.12
Características del suelo indicadas por especies arvenses

Especie arvense	Características del suelo
Amaranthus spp.	Exceso de N.
Anagallis arvensis	Terrenos aireados, presencia de N, pH menor de 6,5.
Bromus spp.	Suelos superficiales.
Calendula arvensis	Baja CIC, baja presencia de complejo arcillo-húmico.
Chenopodium album	Exceso de materia orgánica animal o poco compostada, exceso de N.
Cyperus rotundus	Saturación de agua, salinidad por riego, pH elevado.
Convolvulus arvensis	Exceso de nitratos.
Diplotaxis erucoides	Suelos compactados, bloqueo de elementos por pH elevado.
Papaver rhoeas	Contrastes hídricos. Sequía estival. Elevación brusca de pH.
Portulaca oleracea	Erosión, compactación, lixiviación. Suelos desnudos y no protegidos.
Urtica spp.	Exceso de N. Materia orgánica y humedad elevadas.

Fuente: adaptado de Carreras, J. *et al.*, 2006.

Además de la simple observación, pueden realizarse algunos experimentos sencillos en campo, como los siguientes:

1. La *textura* del suelo puede deducirse en campo apreciando táctilmente la aspereza o finura de los materiales. Mojando y moldeando el suelo, puede observarse si es adherente (indica la existencia de limos y arcillas) o plástico (propio de las arcillas). Las arenas no aportan ni adherencia ni plasticidad al suelo mojado.
2. La *estructura* del suelo puede interpretarse observando el tamaño, forma, porosidad y abundancia relativa de los agregados del suelo y de los terrones. La estructura de los suelos pobres se presenta en forma de bloques grandes, densos y angulares, que se fraccionan aplicando fuerza. Por el contrario, los suelos con una buena estructura presentan agregados finos, porosos, sin aristas, redondeados.
3. La *porosidad o aireación* del suelo puede deducirse mediante la realización de un hoyo en el suelo de un metro de profundidad aproximadamente, con una pala. Una vez realizado, se vuelve a colocar la tierra en el mismo hoyo. Si la tierra recolocada ocupa

menos volumen que la desalojada, es que el suelo está bien estructurado. Si ocupa más volumen, es que la tierra estaba muy compactada. Tras la realización de un perfil del suelo y su estudio se intuye la necesidad de mayores o menores aportes de materia orgánica, se pueden descartar cultivos que necesiten suelos más profundos o decidir iniciar trabajos de descompactado o drenado a mayor profundidad.

En el apartado 3.6.4 se explican con más detalle algunos ensayos básicos que pueden llevarse a cabo tanto en campo como en laboratorio.

3.6.3. Toma de muestras de suelo

Para poder hacer un análisis de suelos, ya sea de una forma básica o de manera profesional, en primer lugar hay que decidir dónde se toman las muestras. Se ha de procurar que los puntos de ensayo y de recogida de materiales sean representativos de la realidad estudiada.

Para ello es importante, en primer lugar, observar la parcela, para poder detectar sus irregularidades, y dividir la superficie en zonas homogéneas. Se deben diferenciar zonas bajas donde pueda acumularse el agua; zonas en las que se observe un cambio de color, otras en las que se detecten diferentes especies silvestres u otras en las que las plantas cultivadas presenten problemas concretos. Cuantas más subparcelas se establezcan, más completo será el análisis, pero también más laborioso. A cada una de estas zonas se les denomina *unidades de muestreo.* Sobre cada unidad de muestreo se realizan dos o más catas, las cuales serán elegidas al azar intentando que estén alejadas unas de otras de forma regular.

Se recomienda tomar unas veinte muestras por hectárea, con un número mínimo de cuatro submuestras, con un kilogramo de tierra cada una. Una vez tomadas las submuestras, se mezclan aquellas que provienen de la misma unidad de muestreo, de tal manera que al laboratorio solo llegue una muestra por unidad de muestreo. No obstante, es conveniente consultar al laboratorio cuál es la cantidad mínima de muestra que necesita para los análisis encargados.

En caso de tomar muestras a diferentes profundidades, se mantendrán separadas las distintas profundidades como si se tratara de unidades de muestreo diferentes.

Las submuestras se obtienen con ayuda de una pala o azadón, cavando un hoyo de unos veinte centímetros de profundidad y cortando una rebanada lateral del hoyo.

Las muestras se recogen en recipientes que puedan cerrarse con garantías, y se etiquetan indicando alguna referencia que permita identificarlas sin riesgo a equívocos.

Se guardan sin que exista riesgo de roturas del envase, ni derrames. Se protegen de la insolación directa y se colocan en un lugar con temperaturas frescas (si es posible, en nevera).

3.6.4. Análisis básico de suelos

Una vez la muestra de suelo está en el laboratorio, se procede a una preparación previa, que consiste en las siguientes operaciones:

a) Tamizado: la muestra se hace pasar a través de un tamiz de 6 mm de luz, ayudándose de una mano de mortero con cuerpo de goma, de esta forma se separan grava y piedras o trozos de vidrio, componentes que usualmente no deben suponer más del 1 % de la masa total. Si sobrepasan ese contenido, hay que pesarlos y expresar el resultado como porcentaje de grava.

b) Secado: una vez tamizada la muestra, se deposita sobre un papel limpio y se deja secar al aire. También se puede secar en estufa o con corriente forzada de aire caliente, sin sobrepasar los 40 °C.
c) Una vez seco, el material se desmenuza y se cuartea, deshaciendo los terrones con ayuda de un mortero o mazo de goma hasta obtener un material de aspecto homogéneo.
d) Se cuartea hasta obtener la muestra de ensayo con la masa adecuada y con tamaño de partícula que le permita pasar a través de un tamiz de 2 mm.
e) Una vez obtenida la muestra de ensayo, se puede comenzar a analizar, en cada caso siguiendo la norma adecuada.

Es interesante que se disponga de algunas técnicas básicas para poder predecir el comportamiento agronómico del suelo sin tener que recurrir a un especialista. Los resultados que se extraigan de estos experimentos sencillos tienen un valor cualitativo, que debe confirmarse más tarde en un laboratorio de análisis agrícolas con procesos certificados, si fuera necesario. A continuación se detallan algunos de estos ensayos.

A) Determinación de la textura del suelo por el tacto

El procedimiento consiste en: tomar un poco de muestra y se humedece con agua hasta obtener una pasta homogénea. Con esta pasta se intenta moldear las figuras que se indican en el cuadro 3.13. En función de la adherencia y plasticidad de la pasta, podrán formarse todas o algunas de estas figuras, de lo cual puede deducirse la presencia relativa de arena, limo o arcilla y la textura del suelo.

CUADRO 3.13
Interpretación del ensayo de determinación de la textura del suelo por el tacto

Textura del suelo	Figuras				Observaciones
	Cilindro de 10 cm de longitud		Anillo		
	Ø = 3 mm	Ø = 1 mm	Ø = 3 mm	Ø = 1 mm	
Arcillosa	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	La pasta mojada es brillante. Suelo adherente y plástico.
Limosa	SÍ	SÍ/NO	NO	NO	El suelo seco mancha al tocarlo, como la tiza. Suelo poco adherente, no plástico.
Franca	SÍ	SÍ	NO	NO	Suelo algo adherente, no plástico.
Areno-limosa o limo-arenosa	SÍ	NO	SÍ/ NO	NO	Suelo poco adherente, no plástico.
Arenosa	NO	NO	NO	NO	El suelo se mantiene suelto, se oyen los granos del suelo cuando caen encima de la mesa al desmenuzar los agregados entre los dedos. Suelo ni adherente ni plástico.

ø = diámetro

B) Análisis del color del suelo

En los laboratorios se determina el color en suelo seco y en suelo húmedo mediante la tabla de colores Münsell para suelos. Esta consiste en 199 cuadros coloreados con diferentes grados de matriz (H), brillo (V) y saturación (C) que se combinan para dar los diferentes tonos, que se nombran como HV/C.

A nivel más práctico pero menos estricto, a través de la observación del color del suelo se pueden deducir algunas de sus características, ya que el color está muy relacionado con las propiedades físicas y químicas de los suelos:

a) *Colores oscuros:* indican existencia de materia orgánica (sobre todo si se oscurece cuando se moja), de manganeso o de minerales de color oscuro (pizarras…).
b) *Color blanco:* indica ausencia de materia orgánica, salinidad o material geológico blanco.
c) *Precipitaciones blancas:* existencia de carbonato cálcico o magnésico, yeso o sales.
d) *Color rojo:* existencia de hierro oxidado o férrico, lo que indica buena aireación y suelos maduros, buen drenaje y altas temperaturas.
e) *Color gris, azulado o verdoso:* indica falta de aireación. Drenaje deficiente. Encharcamiento estacional. Anaerobiosis.
f) *Color amarillento:* existencia de hierro en estado de hidratación, indica poca aireación y poca materia orgánica. Suelos finos con dificultades de drenaje. Acidez.

C) Presencia de carbonatos de calcio y magnesio

Los carbonatos se presentan en el suelo precipitados o petrificados, que se ven a simple vista en forma de piedras blanquecinas, más o menos disueltos o en partículas muy pequeñas, dando lugar a la caliza activa y aportando un color claro al suelo.

La presencia de carbonatos se puede apreciar por la reacción química con un ácido fuerte, como el ácido clorhídrico (HCl):

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CO_2 + H_2O + CaCl_2$$

El CO_2 y el H_2O resultantes burbujean visiblemente cuando se forman, de modo que se puede deducir un contenido aproximado de caliza en el suelo por la cantidad de efervescencia que se observa.

Cuadro 3.14
Análisis cualitativo de carbonatos con HCl al 10 %

Descripción del suelo	Efectos auditivos (ruido)	Efectos visibles (efervescencia)
No calcáreo. Menos del 0,5 % de caliza activa.	Ninguno.	Ninguna.
Muy ligeramente calcáreo. De 0,5 a 1 % de caliza activa.	De apenas a tenuemente.	Ninguna.

[…/…]

CUADRO 3.14 (CONT.)

Descripción del suelo	Efectos auditivos (ruido)	Efectos visibles (efervescencia)
Ligeramente calcáreo. De 1 a 2 % de caliza activa.	De tenuemente a moderadamente.	Ligera y localizada en granos individuales apenas visibles.
Moderadamente calcáreo. De 2 a 5 % de caliza activa.	De moderadamente a claramente, se oye lejos del oído.	Ligeramente mayor. Visible bajo inspección cercana.
Calcáreo. De 5 a 10 % de caliza activa.	Fácilmente.	Moderada, fácilmente visible. Burbujas de hasta 2 mm.
Altamente calcáreo Más del 10 % de caliza activa.	Fácilmente.	Fuerte y generalizada. Burbujas en todas partes y hasta de 7 mm.

El procedimiento de análisis consiste en echar algunas gotas de HCl al 10 % sobre la muestra de suelo y observar la efervescencia que se produce, deduciendo el contenido en carbonatos con ayuda del cuadro 3.14.

D) Análisis cualitativo del contenido en materia orgánica en el suelo

Una determinación aproximada del contenido en materia orgánica en una muestra de suelo puede estar basada en la observación de la efervescencia que resulta de la reacción típica de la enzima catalasa presente en todos los tejidos animales y vegetales sobre el agua oxigenada (H_2O_2). Como productos de dicha reacción se obtienen agua y oxígeno, que se desprenden burbujeando.

$$2\,H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$$

El procedimiento consiste en colocar una pequeña cantidad de suelo en un vaso de precipitado y añadir un chorro de agua oxigenada con una concentración del 3% o 10 volúmenes de oxígeno (la que habitualmente venden en farmacias), directamente de la botella. Anteriormente al ensayo, se observa y anota la presencia de materia orgánica (pequeñas raíces, restos de hojas, humus…).

En los suelos muy orgánicos es necesario tener especial cuidado en añadir poco a poco el agua oxigenada, ya que la reacción es bastante violenta una vez iniciada y se forma abundante espuma, que puede rebosar del vaso.

La interpretación de los resultados puede llevarse a cabo según se indica en el cuadro 3.15.

CUADRO 3.15
Detección de materia orgánica en el suelo con agua oxigenada

Tamaño y duración de las burbujas	Cantidad y tipo de materia orgánica
Burbujas pequeñas	Materia orgánica difícil de mineralizar
Burbujas grandes	Materia orgánica fácil de mineralizar

[.../...]

Cuadro 3.15 (cont.)

Tamaño y duración de las burbujas	Cantidad y tipo de materia orgánica
Poca duración del burbujeo	Menor cantidad de materia orgánica
Mayor duración del burbujeo	Mayor cantidad de materia orgánica

E) Medida de pH del suelo

La medida del pH indica el grado de acidez o basicidad de una determinada *disolución,* que es función de la concentración de los iones hidrógeno (protones). Para obtener el pH del suelo, por tanto, habrá que humedecerlo primero. Esto presenta el inconveniente de que el valor de pH depende del grado de disolución.

Un método muy conveniente para analizar las propiedades químicas del suelo es mediante el llamado *extracto de saturación*. Para obtenerlo, se agrega agua destilada lentamente a aproximadamente medio o un kilogramo de muestra de suelo tamizada en cantidad necesaria para obtener una pasta homogénea saturada. Durante el proceso se va amasando la pasta para eliminar el aire lo máximo posible. El extracto saturado o extracto de saturación se obtiene colocando aproximadamente un kilo de pasta saturada del que se extrae el líquido con un filtro a presión. Este procedimiento requiere de tiempo y disponibilidad de material de laboratorio especializado.

Para un análisis rápido y aproximado, que aporta la idea de cómo será el pH en el extracto de saturación, se pesan 10 gr de suelo seco, se colocan en un vaso de precipitado y se añaden 25 ml de agua destilada. Se agita diez minutos y se deja reposar otros treinta minutos.

La medida de pH se puede hacer por distintos métodos, como el papel indicador de pH y el pH-metro:

1. *Papel indicador de pH:* para medir el pH, se sumerge un par de segundos una tira de papel indicador en la disolución de suelo 1:2,5, una vez agitada. Tras diez o quince segundos, se estabiliza el color de la tira y se compara el color resultante con los de la escala de colores que acompaña a las tiras.
2. *pH-metro:* el pH-metro se compone de un par de electrodos conectados a un medidor capaz de medir voltajes pequeños. Hoy en día existen numerosos tipos de pH-metros disponibles, tanto de laboratorio (con más precisión) como de campo. Se debe sumergir el electrodo en la solución problema, teniendo en cuenta que siempre hay que enjuagar y secar el electrodo entre medidas. Se agita la suspensión inmediatamente antes de hacer la medida, pero no durante la misma.

F) Salinidad del suelo

La conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación del suelo es el parámetro más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad de suelos y agua. Si no se dispone de un extracto de saturación, se puede proceder a la medida de una disolución de suelo seco en agua destilada en proporción 1:5 (peso: volumen). Esto se consigue añadiendo 25 ml de agua destilada en el vaso de precipitado en el que se ha determinado el pH y agitando de nuevo. Se deja sedimentar el tiempo necesario hasta que el sobrenadante esté claro. La CE puede medirse en el sobrenadante con un conductímetro de mesa o de bolsillo, utilizando el mismo procedimiento que para medir el pH.

Si la CE es mayor de 0,6 dS/m, el suelo tendría algún grado de salinidad y sería aconsejable hacer un análisis de CE en el extracto saturado (CEes) según se desprende del cuadro 3.16.

CUADRO 3.16
Aproximación de la salinidad de un suelo a través de la CE en la solución 1:5 (p:v)

Tipo de suelo y efecto de la salinidad en los cultivos	CEes a 25 °C* dS/m	CE en la solución 1:5 a 25 °C* dS/m
Suelo no salino.	0 - 2	0 - 0,3
Ligeramente salino. Limitante para cultivos muy sensibles.	2 - 4	0,3 - 0,6
Moderadamente salino. Limitante para el cultivo de muchos cultivos.	4 - 8	
Fuertemente salino. Solo para cultivos tolerantes.	8 - 16	
Muy fuertemente salino. Muy pocos cultivos lo resisten.	> 16	

*CE a 25 °C = 1112 × CE a 20 °C.

SABÍAS QUE...?

La sanidad de un suelo puede determinarse directamente en campo de manera aproximada mediante el uso de determinados tipos de sondas que hay disponibles en el mercado.

Mediante estos instrumentos se obtiene el parámetro de *conductividad eléctrica aparente* del suelo (CEa), que es dependiente de la humedad y la textura del mismo. Por ello se aconseja, además de calibrar el sensor, realizar las medidas 2 o 3 días tras un riego o una lluvia copiosa.

Hay diferentes tipos de sondas (electromagnéticas, resistivas, o reflectométricas), algunas de las cuales se están utilizando cada vez más en agricultura de precisión, conectadas a sistemas de georreferenciación.

En el vídeo que enlaza el código QR adjunto encontrarás un vídeo sobre esta tecnología.

Resumen

- Los suelos se forman en la corteza terrestre, posibilitando la vida de multitud de seres vivos, entre ellos las plantas, que con sus raíces los exploran para encontrar agua y nutrientes. Los suelos son, en sí mismos, ecosistemas. La salud y productividad de los cultivos dependen de la calidad de este ecosistema, de su estabilidad y de su capacidad de contrarrestar agentes agresivos que pudieran presentarse. Las plantas, y el resto de seres vivos que en él habitan, aportan al suelo materia orgánica, la cual es fundamental para la fertilidad del suelo. Para la planificación y manejo de los cultivos es imprescindible saber cómo son los suelos, cuál es su composición y cómo llegan a formarse, así como sus características físicas, químicas y biológicas más importantes. Que un suelo sea fértil o no, depende más de su buen funcionamiento y su equilibrio, y este buen funcionamiento casi siempre puede relacionarse con una buena

estructura, que evite problemas de compactación, encharcamiento o excesiva disgregación. Conocer el suelo a través de la observación y de la interpretación de análisis de laboratorio y pruebas sencillas es fundamental para que un técnico en producción de planta pueda tomar las decisiones correctas que van a acabar repercutiendo a la economía de su empresa agraria.

Supuesto práctico

1. Estudio de un perfil de suelo:

a) Realiza una calicata (excavación vertical en un suelo) en un suelo evolucionado. Puedes aprovechar un talud ya existente en una orilla de un camino o una pequeña excavación ya realizada. De esta manera solo deberás eliminar las capas verticales más expuestas para poder observar el perfil. Para hacer la excavación, utiliza una pala o una picola, azada, etc.

b) Identifica los distintos horizontes, determina su profundidad y recoge información sobre las características de cada uno (presencia de moteados, de precipitados blancos, de materia orgánica, diferencias en textura, material, etc.). Con los datos obtenidos y con ayuda de la información contenida en la página web www.edafologia.net, indica cuál es la nomenclatura correcta de los horizontes que has diferenciado.

2. Obtención de una muestra de suelo de una parcela de cultivo para su posterior tratamiento en laboratorio:

a) Haz un esquema de la parcela, indicando de manera aproximada sus dimensiones y su superficie. Calcula el número de submuestras que vas a tomar. Indica en el esquema la posición de las muestras que vas a tomar.

b) Tras tomar las submuestras y mezclarlas adecuadamente, desmenuza la muestra resultante con las manos y deja secar al aire libre sobre papel durante al menos tres días, hasta que esté seca al tacto. Guarda la muestra en una bolsa de plástico limpia y etiquetada. Genera una etiqueta o ficha de la muestra con la información necesaria para su correcta identificación.

3. Análisis en el aula-laboratorio de la muestra obtenida:

a) Preparación de la muestra: elimina manualmente los elementos más gruesos de la muestra secada al aire (grava, trozos de vidrio, etc.). Desmenuza los terrones con ayuda de un mortero, si es necesario. Haz pasar la muestra a través de un tamiz de 2 mm.

b) Una vez obtenida la muestra de ensayo, realiza sobre ella los análisis que se han explicado en este capítulo: textura, color, presencia de carbonatos, materia orgánica, pH y salinidad.

c) Elabora un informe sobre el comportamiento agronómico que cabe esperarse del suelo estudiado, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y la observación *in situ* de sus características.

Actividades de autoevaluación

1. La CIC de un suelo:
   - ☐ *a)* Es la cantidad de aniones que pueden ser retenidos por unidad de una masa de suelo.
   - ☐ *b)* Es mayor en suelos arcillosos.
   - ☐ *c)* Es mayor en suelos con materia orgánica.
   - ☐ *d)* Se expresa en meq/100 g de suelo.

2. Una relación C/N > 12 en la materia orgánica de un suelo puede significar que:
   - ☐ *a)* Hay un equilibrio óptimo entre humificación y mineralización.
   - ☐ *b)* La humificación es muy elevada.
   - ☐ *c)* Se han aportado al suelo restos vegetales con elevado contenido en proteínas.
   - ☐ *d)* La mineralización es más alta de lo deseable.

3. Un suelo con CE_{es25} = 15 mmhos/cm es un suelo:
   - ☐ *a)* Extremadamente salino.
   - ☐ *b)* Ligeramente salino.
   - ☐ *c)* Moderadamente salino.
   - ☐ *d)* Fuertemente salino.

4. Indica la afirmación correcta:
   - ☐ *a)* El agua útil es agua en capacidad de campo menos agua en punto de marchitez.
   - ☐ *b)* El agua útil es agua en suelo saturado menos agua en punto de marchitez.
   - ☐ *c)* El agua en capacidad de campo es agua en suelo saturado menos agua de drenaje.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

5. Un suelo con 20 % de arena y 60 % de limo en su fracción fina tiene una textura:
   - ☐ *a)* Franco arcillo arenosa.
   - ☐ *b)* Limosa.
   - ☐ *c)* Franco limosa.
   - ☐ *d)* Arcillo limosa.

SOLUCIONES:

1. a **b** **c** **d** **3.** a b c **d** **5.** a b **c** d
2. a **b** c d **4.** **a** b c d

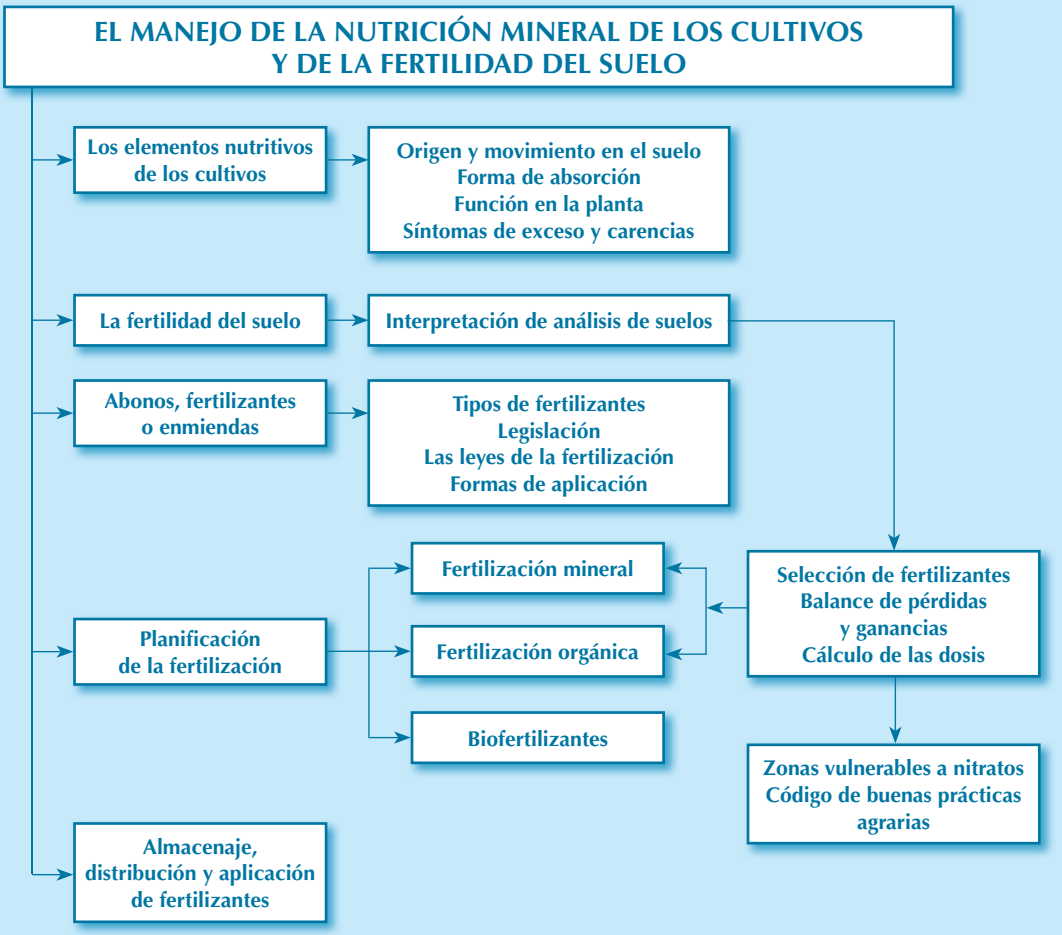
4

El manejo de la nutrición mineral de los cultivos y de la fertilidad del suelo

Objetivos

- ✓ Planificar acciones de mejora de la fertilidad del suelo.
- ✓ Seleccionar enmiendas y fertilizantes, determinando el momento y la forma de aplicación, y calculando las dosis adecuadas.
- ✓ Conocer la problemática ambiental de la contaminación de nitratos de origen agrario, y la normativa que afecta a la fertilización orgánica y nitrogenada.
- ✓ Identificar la maquinaria, aperos y equipos para la aplicación de abonos minerales y enmiendas orgánicas.
- ✓ Establecer criterios técnicos, económicos y de sostenibilidad en la selección y aplicación de métodos de fertilización.

Mapa conceptual



Glosario

Densidad aparente de un suelo. Peso seco del suelo/volumen. Se expresa en g/cm^3 o t/m^3.

Enmienda. Aporte que mejora las propiedades del suelo.

Enmienda orgánica. Enmienda procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica.

Eutrofización. Enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema acuático. Generalmente hace referencia a la acumulación de los nutrientes inorgánicos nitrógeno y fósforo.

Fertirrigación. Aplicación simultánea de agua y fertilizantes a través del sistema de riego.

Fitorremediación. Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados y compuestos orgánicos por medio de la utilización de plantas.

Quelato. Complejo muy estable formado por una sustancia orgánica unida a un metal. Se utiliza en la agricultura para suministrar micronutrientes (hierro, manganeso, zinc y cobre) a las plantas en ciertas condiciones desfavorables como pH inadecuados.

4.1. Introducción

En el contexto de la planificación de cultivos, el sostenimiento de una nutrición mineral equilibrada es una práctica fundamental para obtener rendimientos y calidades óptimos en las cosechas, así como para favorecer un óptimo estado fitosanitario de las plantas.

4.1.1. Los nutrientes minerales de los cultivos

El 90 % de la composición del peso de las plantas consiste en carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), elementos que obtienen del aire y del agua. El 10 % restante, denominada *parte mineral*, está constituida por elementos minerales disueltos en la solución del suelo que son absorbidos por las raíces. Esta parte mineral es variable en función de la especie, de su etapa de desarrollo y de la disponibilidad de nutrientes en el medio. Así, por ejemplo, las leguminosas tienen un mayor contenido en calcio (Ca), mientras que las gramíneas son ricas en silicio (Si).

Recurso electrónico 4.1

En el anexo web 4.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre la concentración típica de los elementos esenciales en hojas de plantas con nutrición adecuada.

Un elemento mineral es *esencial* para las plantas cuando es necesario para su normal desarrollo y reproducción, de manera que no puede ser reemplazado por otro. Para ser considerado esencial, un elemento debe formar parte de alguna molécula o constituyente de la planta, que es en sí mismo esencial para esta, como por ejemplo el nitrógeno (N) en las proteínas o el magnesio (Mg) en la clorofila.

Entre los catorce elementos esenciales, se consideran *macroelementos* a los que se encuentran presentes en los tejidos de las plantas en una concentración mayor al 0,1 % (1 g/kg), y *microelementos* u *oligoelementos* a los ocho restantes (figura 4.1). Los macroelementos, a su vez, se dividen en principales (N, P, K) y secundarios (Ca, Mg, S).

Además de los elementos esenciales, hay que considerar los *elementos beneficiosos* que, si bien no cumplen con los criterios de esencialidad, estimulan el crecimiento y el desarrollo en las plantas. Además, algunos de estos minerales son esenciales para ciertas especies de plantas, bajo condiciones concretas. En este grupo se incluyen el sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co), selenio (Se) y aluminio (Al), entre otros.

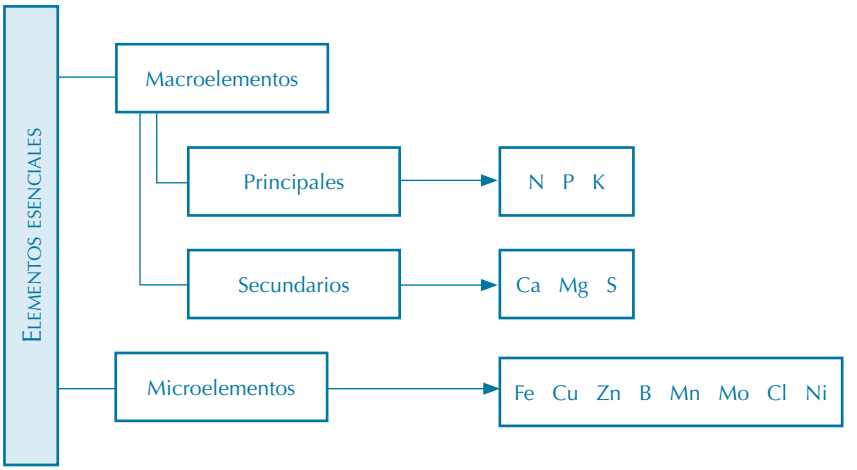


Figura 4.1
Elementos esenciales en las plantas.

Los elementos minerales presentes en las plantas cumplen principalmente las funciones que se recogen en la figura 4.2.

Figura 4.2
Principales funciones de los elementos minerales en las plantas.

PARA SABER MÁS

Algunas plantas, denominadas *acumuladoras,* son capaces de almacenar ciertos elementos minerales, algunos muy tóxicos para otros organismos, en concentraciones muy por encima de la media. Por ejemplo, *Arabidopsis thaliana* acumula cobre (Cu) y zinc (Zn), y *Helianthus annuus* acumula níquel (Ni), cadmio (Cd) y Zn. Algunas de estas plantas se utilizan para la fitorremediación de suelos contaminados.

4.1.2. Los elementos nutritivos en la planta y en el suelo

De cada elemento nutritivo que los cultivos necesitan, interesa conocer las formas en que se encuentran en el suelo y en la que se absorben por la planta, así como su papel fisiológico y los síntomas de carencia y fitotoxicidad.

A) Nitrógeno

Funciones en la planta. Síntomas de deficiencia y exceso:

- El nitrógeno (N) es uno de los principales constituyentes de las plantas, formando parte de las proteínas (aminoácidos), los ácidos nucleicos y la clorofila. Es necesario para que se desarrollen con normalidad todas las funciones metabólicas de los vegetales.
- Su deficiencia conduce a un menor crecimiento y a un debilitamiento de la planta, así como a una clorosis (amarilleamiento) de las hojas viejas (ya que es un elemento móvil por el floema y es traslocado o movilizado hacia las nuevas brotaciones).

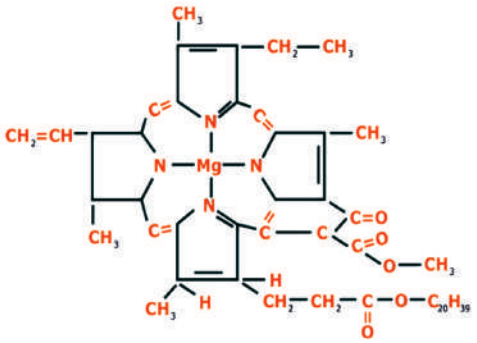


Figura 4.3
Molécula de *clorofila a*, con cuatro átomos de N y uno de Mg.

- Su presencia excesiva en el suelo o en las soluciones nutritivas produce un exceso de desarrollo vegetativo, en detrimento del reproductivo (floración y cuajado) y de la calidad del fruto. En estas situaciones las hojas presentan un color verde oscuro. Las brotaciones son más tiernas y más largas, con menor resistencia a heladas, plagas y enfermedades.

Movimiento en el suelo. Formas de absorción:

- La mayor parte del N en el suelo está en forma orgánica, formando parte de la materia orgánica y el humus. También se encuentra en forma mineral, como iones disueltos en la solución del suelo (anión nitrato [NO^{3-}] y catión amonio [NH^{4+}]).
- Los iones amonio se transforman en el suelo primero a ion nitrito (NO^{2-}) y, de este, a ion nitrato por acción de los microorganismos del suelo.
- La absorción de nitrógeno por las plantas se produce principalmente en forma nítrica (NO^{3-}), que es una molécula muy móvil en el suelo, con lo que se lixivia con facilidad.
- El ion amonio es muy tóxico para las plantas, y su acumulación en la rizosfera puede ser muy perjudicial.
- Las entradas o ganancias de nitrógeno en el suelo se producen por:

  a) Mineralización de la materia orgánica, que da lugar a la liberación de iones amonio al suelo (*amonificación*). Los iones amonio se transforman en nitratos (*nitrificación*) en presencia de oxígeno, por acción de bacterias como las de los géneros *Nitrosomonas* o *Nitrobacter*.
  b) Fijación del nitrógeno atmosférico a cargo de bacterias simbióticas, en el caso de *Rhizobium,* o no simbiótica, en el caso de *Azotobacter*, *Clostridium* y otras.
  c) Aporte mediante aguas de riego con nitratos en disolución.

Las salidas o pérdidas del nitrógeno asimilable de un suelo tienen lugar por:

a) Inmovilización por seres vivos, mediante la absorción de las plantas y utilización por los microorganismos.
b) Fijación en el complejo arcillo-húmico. Los cationes amoniacales pueden ser adsorbidos compitiendo con otros cationes como K^+, H^+, Ca^{2+} y Mg^{2+}.

c) Desnitrificación. En condiciones anaerobias el nitrato puede ser reducido por bacterias como *Pseudomonas, Micrococcus* y *Bacillus*, transformándose en N_2, que se volatiliza.
d) Volatilización del amoniaco. Los iones amonio reaccionan en medio básico formando amoniaco (NH_3), que se pierde en forma gaseosa.
e) Lixiviación, sobre todo de iones nitrato, muy solubles y móviles en el suelo y en el agua.

B) Fósforo

Funciones en la planta. Síntomas de deficiencia y exceso:

- El fósforo (P) forma parte del material genético (ADN y ARN) y del ATP, y actúa como regulador de algunos enzimas básicos del metabolismo de los azúcares. Es muy importante en el desarrollo de raíces, así como en la floración, cuajado y maduración de frutos.
- Su deficiencia provoca síntomas de coloraciones oscuras, moradas o bronceadas, iniciándose los síntomas en hojas viejas, dado que es un elemento móvil en el floema. También se traduce en una disminución del enraizamiento, floración y cosecha.
- El exceso de fósforo no produce efectos destacados en los cultivos, pero dificulta o inhibe la acción del hierro (Fe) y del Zn.

Movimiento en el suelo. Formas de absorción:

- La mayor parte del fósforo del suelo tiene un origen mineral. Es un elemento muy abundante en la corteza terrestre. La mineralización de la materia orgánica no es una fuente importante de fósforo en el suelo. Se encuentra en la solución del suelo como fosfatos (monofosfato: $H_2PO_4^-$ y bifosfato: $H_2PO_4^{2-}$) que son las formas asimilables, preferentemente la segunda, que abunda más cuanto más básico es el suelo.
- El fósforo de la solución del suelo se encuentra en equilibrio con el fijado en el complejo arcillo-húmico (o fósforo cambiable). El fósforo cambiable puede pasar a un estado no disponible para las plantas al precipitar con calizas o fijarse sobre arcillas o materia orgánica, dando lugar a compuestos poco solubles.
- Es un elemento muy poco móvil en el suelo, debido a los procesos de fijación comentados, teniendo únicamente importancia los movimientos por difusión de unos pocos centímetros.

C) Potasio

Funciones en la planta. Síntomas de deficiencia y exceso:

- El potasio (K) es el principal regulador del contenido hídrico de las células, ya que es el catión más abundante en vacuolas y citoplasma. Es un activador enzimático, que estimula la fotosíntesis y el transporte de azúcares en la planta. Proporciona resistencia a condiciones adversas como bajas temperaturas, estrés hídrico o enfermedades. Se

considera fundamental en la calidad de la cosecha, ya que mejora la calidad, tamaño y precocidad de los frutos, semillas y tubérculos.
- La carencia de potasio limita el crecimiento y aumenta la sensibilidad a fisiopatías, plagas y enfermedades. Las semillas, frutos y tubérculos disminuyen su tamaño. Aparece clorosis en las hojas viejas (es muy móvil en el floema), que se secan por los bordes y se curvan hacia arriba.
- La abundancia de potasio en el suelo no provoca síntomas en la planta por sí mismo, pero puede originar carencia de Mg por antagonismo.

Movimiento en el suelo. Formas de absorción:

- El potasio del suelo tiene origen mineral, obteniéndose de la transformación del material geológico. Se absorbe en forma catiónica (K^+). La fracción más activa del potasio se encuentra adsorbido en las arcillas de la fracción coloidal. También es adsorbido por el humus, pero en proporción mucho más débil. Esta fracción se encuentra en equilibrio con la contenida en la solución del suelo.
- A pesar de su elevada solubilidad, las pérdidas por lavado son generalmente muy bajas, siendo prácticamente nulas en suelos ricos en arcillas o en materia orgánica.

D) Calcio

Funciones en la planta. Síntomas de deficiencia y exceso:

- Es un elemento estructural de paredes y membranas celulares. Tiene un papel fundamental en la división celular y en la absorción de nutrientes. Activa la síntesis de azúcares y proteínas. Por todo ello, es clave en la calidad y conservación de los frutos y en la resistencia de los tejidos nuevos de la planta.
- Su deficiencia afecta a los nuevos tejidos de la planta, que aparecen amarillentos y deformados, ya que es bastante inmóvil por el floema y su suministro depende del transporte por el xilema. Las raíces ven disminuido su crecimiento.
- Un exceso de calcio en el suelo dificulta o inhibe la absorción de K, Fe, Zn y Mg.

Movimiento en el suelo. Formas de absorción:

- El contenido de calcio de un suelo depende de la naturaleza y grado de meteorización de los materiales geológicos originarios, así como de los procesos de lixiviación que hayan sufrido.
- Las formas de calcio en el suelo son, o bien precipitado formando carbonatos, fosfatos, sulfatos y algunos silicatos como calcio cambiable, adsorbido en el complejo coloidal, actuando como floculante; o como catión (Ca^{2+}), disuelto en la solución del suelo, que es como puede ser absorbido por las raíces.
- En el complejo arcillo-húmico se adsorbe más fuertemente que Mg, K y Na, y compite con el ion amonio por su posición. El calcio suele ocupar entre el 30 y el 90 % de la capacidad total de cambio del suelo.
- El calcio se mueve en suelo con el agua, por lo que se pierde fácilmente por lavado, acumulándose en horizontes más profundos.

Investiga

La deficiencia de calcio es la causa de alteraciones tan conocidas como *tip burn, blossom end rot* y *bitter pit*. Busca en Internet su nombre en castellano, los cultivos a los que afectan, así como los síntomas y las condiciones en las que aparecen.

E) Azufre

Funciones en la planta. Síntomas de deficiencia y exceso:

- El azufre (S) un elemento estructural de azúcares y algunos lípidos, proteínas y vitaminas. Afecta a la actividad enzimática. Mejora la resistencia a la toxicidad a ciertos elementos que en exceso resultan tóxicos como Cu, Zn y Cd.
- Su deficiencia es poco frecuente, y se traduce en un retraso en el crecimiento y debilidad de los tallos, de forma muy parecida a la carencia de nitrógeno. Otros síntomas son las hojas jóvenes cloróticas, incluidos los nervios, y fallos en el desarrollo de los frutos.

Movimiento en el suelo. Formas de absorción:

- La mayor parte del azufre del suelo se halla en la fracción orgánica, al igual que el nitrógeno. La parte inorgánica se encuentra en forma de ion sulfato, disuelto en la solución o formando diferentes sales. Los iones sulfato pueden ser adsorbidos por intercambio con los grupos OH^- con pH inferiores a 6. Con pH superiores prácticamente no hay adsorción.
- El ion sulfato es muy soluble y muy móvil en el suelo, lo que le hace susceptible de ser lavado por causa de lluvias o riegos. Estas pérdidas son menores en suelos con elevado complejo de cambio.
- El azufre es absorbido por las plantas en forma de ion sulfato (SO_4^{2-}).
- Los residuos industriales que contaminan la atmósfera (SO_2) son aportados al suelo con la lluvia, acidificando el suelo (lluvia ácida).

F) Magnesio

Funciones en la planta. Síntomas de deficiencia y exceso:

- Forma parte de la molécula de clorofila e interviene en la fecundación.
- Su deficiencia se observa como clorosis internerval en las hojas viejas, que no se secan.
- Su exceso puede conllevar deficiencias en potasio y zinc por antagonismos y puede desplazar al calcio del complejo arcillo-húmico al competir por sus posiciones en el mismo, pudiendo provocar carencias de calcio, sobre todo en suelos no calizos.

Movimiento en el suelo. Formas de absorción:

- En el suelo, el magnesio se encuentra en ciertos minerales como la dolomita, de forma poco activa. De manera activa se encuentra como magnesio cambiable, adsorbido en el complejo coloidal, y disuelto en la solución del suelo (Mg^{2+}), que es el magnesio absorbible.
- Puede, al igual que el K^+, quedar fijado por arcillas en forma no cambiable. Con un pH ácido puede bloquearse.
- Se lava fácilmente por lluvia o riego.

G) Microelementos

Los microelementos esenciales tienen una función de regulación del metabolismo de la planta, ya que activan las reacciones enzimáticas. Las deficiencias son difíciles de identificar a simple vista y frecuentemente no se presentan de forma individual. Para detectarlas se recomienda la realización de análisis foliares.

Cuadro 4.1
Microelementos esenciales en las plantas, formas de absorción y disponibilidad

Microelemento	Forma de absorción	Condiciones de disponibilidad para la planta
Hierro (Fe)	Fe^{2+}	A medida que sube el pH, su solubilidad disminuye. Son frecuentes los síntomas de amarilleamiento (clorosis férrica) en hojas jóvenes con pH mayores de 7,5.
Zinc (Zn)	Zn^{2+}	Es más soluble con pH ácido. A medida que sube el pH, su solubilidad disminuye. Las carencias se producen sobre todo en frutales.
Manganeso (Mn)	Mn^{2+}	Es más soluble con pH ácido. A medida que sube el pH, su solubilidad disminuye. Efectos tóxicos en suelos ácidos (junto con Al).
Cobre (Cu)	Cu^{2+}	La solubilidad desciende drásticamente a medida que aumenta la acidez del suelo. En los suelos calizos los quelatos y los complejos orgánicos son muy estables.
Molibdeno (Mo)	Anión molibdato $(MoO_4)^{2-}$	La solubilidad del molibdeno aumenta con el pH.
Boro (B)	Ácido bórico (BO_3H_3)	Se pueden dar contenidos muy bajos de boro por pérdidas de lavado en suelos ácidos, por fijación en suelos básicos y especialmente calizos, y por periodos de sequía en suelos pobres, al quedar reducida su movilidad. Las carencias se producen sobre todo en frutales, especialmente en manzanos.
Cloro (Cl)	Cl^-	Las carencias son muy poco frecuentes.
Cobalto (Co)	Co^{2+}	Las carencias son muy poco frecuentes.
Níquel (Ni)	Ni^{2+}	Las carencias son muy poco frecuentes.

RECUERDA

- ✓ El *análisis foliar* o cuantificación del contenido de elementos minerales en las hojas es una técnica de diagnosis que se realiza en laboratorios con el objetivo de determinar el estado nutricional de las plantas. Los análisis foliares se realizan frecuentemente para verificar algún síntoma de deficiencia de nutrientes en los cultivos, así como, de forma rutinaria, para determinar el nivel de fertilidad del suelo.
- ✓ El muestreo para llevar a cabo un análisis foliar debe realizarse siguiendo el protocolo que indique el laboratorio, que será diferente para cada cultivo y estado de desarrollo. Cuando no existen instrucciones específicas de muestreo, la regla general es la de tomar hojas sanas (limbo y peciolo), situadas en la zona media de la planta, que hayan adquirido su tamaño definitivo, sin entrar en senectud. Se deben recoger como mínimo unas cincuenta hojas, que se guardarán preferentemente refrigeradas, entregando la muestra al laboratorio de análisis en el menor tiempo posible.

RECURSO WWW

En el vídeo: "Fisiopatías relacionadas con desarreglos nutricionales", de la UPV, al que puedes acceder a través del QR adjunto, puedes aprender más sobre los síntomas de deficiencia y exceso de nutrientes en los cultivos.

Actividad propuesta 4.1

Elabora una tabla que resuma la información más importante: formas en el suelo, absorción, papel fisiológico y síntomas de deficiencia/toxicidad, de los elementos esenciales primarios y secundarios.

4.2. La fertilidad del suelo

La fertilidad del suelo es un concepto muy amplio que puede interpretarse de formas diversas. En cualquier caso, la fertilidad es una medida del correcto funcionamiento del suelo, de su capacidad para proveer nutrientes a las plantas y albergar biodiversidad. Así, suelos pobres en nutrientes pueden ser muy fértiles, y al contrario.

4.2.1. Bases de la fertilidad del suelo

La *fertilidad agronómica* del suelo es la capacidad del mismo para proporcionar las cantidades adecuadas de nutrientes, aire y agua que permitan el óptimo y saludable crecimiento de las plantas en condiciones de salubridad. Es un indicador de la sostenibilidad de los agroecosistemas, ya que es una condición de los suelos que es posible solo si los procesos más importantes que intervienen en su dinámica funcionan de manera correcta y equilibrada.

Todos aquellos factores físicos, químicos y biológicos que están implicados en la disponibilidad de materia orgánica: la aireación, la retención de agua y nutrientes y el equilibrio biológico del suelo, afectan a la fertilidad del suelo. Además, algunas condiciones del suelo afectan directamente a la absorción de los elementos minerales por las raíces (cuadro 4.2).

Cuadro 4.2
Factores del suelo que afectan a la absorción de elementos minerales por el cultivo

Factor	Cómo afecta a la absorción mineral
Textura	Los suelos arcillosos, además de presentar más capacidad de retención de agua y nutrientes, tienen una mayor superficie en contacto con las raíces, lo que mejora la absorción.
Aireación	La absorción de nutrientes por las raíces es un transporte activo, con consumo de energía, que se obtiene de la respiración celular, para lo cual se necesita oxígeno disponible. La exigencia en aireación depende de los cultivos: la mayoría requieren un nivel de oxígeno relativamente alto, si bien hay cultivos que soportan niveles muy bajos como el arroz.
pH	El pH puede favorecer la volatilización, la precipitación o el bloqueo de los nutrientes en función de su valor en el suelo.
Temperatura	La absorción suele ser más intensa durante los meses de altas temperaturas. En el caso del fósforo, pueden presentarse deficiencias en los meses fríos.
Humedad	La presencia de agua es necesaria para la disociación de nutrientes y su absorción.
Interacciones iónicas	Entre determinados elementos se pueden producir sinergismos o antagonismos que potencien o reduzcan su absorción. Por ejemplo, el sinergismo potasio/fósforo y el antagonismo amonio/potasio.

Algunas condiciones que se dan en los suelos y que limitan su fertilidad son de naturaleza irreversible, y no pueden mejorarse si no es con mucho esfuerzo como son la salinidad, el hidromorfismo (presencia de agua), la profundidad efectiva o la textura. Otras condiciones limitantes, sin embargo, tienen un carácter más reversible, aplicando determinadas prácticas, como son la disponibilidad de nutrientes, la presencia de costra superficial o suela de labor y la acidez.

Recurso WWW

Puedes consultar más información sobre los antagonismos y sinergismos que se dan en la absorción de elementos nutritivos en la página web de Intagri, a la que puedes acceder a través del QR adjunto.

4.2.2. Cuantificación de la fertilidad química del suelo. Interpretación del análisis de suelos

Mediante el *análisis de suelo* se cuantifican ciertos parámetros que definen la fertilidad del suelo a nivel químico, es decir, su capacidad de aportar nutrientes a los cultivos, en forma asimilable y en las cantidades adecuadas.

En la interpretación de un análisis de un suelo no hay que olvidar que:

a) La fertilidad de un suelo no solo ha de estudiarse desde el punto de vista químico, sino que contempla también características físicas y biológicas.

b) Los datos aportados por un análisis deben contemplarse de manera global, teniendo en cuenta las interacciones entre todos los parámetros estudiados.

c) Los valores óptimos de referencia para cada parámetro varían en función del método de análisis utilizado y de las exigencias y características concretas de los cultivos, así como del sistema de cultivo (secano/regadío, sistema de riego, cultivo al aire libre/forzado...).

Existen dos tipos de análisis de suelos, el de fertilidad y el del extracto saturado. En cada uno se analizan diferentes factores y se obtiene información que debe ser interpretada de forma distinta. A continuación se indican los valores de referencia para la interpretación de ambos tipos de análisis (cuadros 4.3 y 4.4).

CUADRO 4.3
Valores de referencia en la interpretación de un análisis de fertilidad de suelo

Parámetro	Valores óptimos	Observaciones
Materia orgánica	1,5 - 2,5 %	Valores mayores en cultivos intensivos y de regadío.
Carbono	0,9 - 1,5 %	
Nitrógeno total	0,2 - 0,5 %	C/N = 8-12 (Ver cuadro 3.3).
Nitrógeno nítrico	20 - 30 ppm	
Fósforo (método Olsen)	10 - 30 ppm	Varía mucho con el método de análisis.
Carbonatos totales	10 - 25 %	
Caliza activa	6 - 9 %	
Cationes de cambio: (*)		
Calcio	6 - 12 meq/100 g (*)	Entre el 30 y el 80 % de la suma de cationes de cambio.
Magnesio	1,25 - 3 meq/100 g (*)	Entre el 10 y el 20 % de la suma de cationes de cambio.
Potasio	0,5 - 0,75 meq/100 g (*)	Entre el 2 y el 15 % de la suma de cationes de cambio.
Sodio	1 meq/100 g (*)	Menor del 10 % en la suma de cationes.
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Suelos arenosos: 1- 5 meq/100 Suelos francos: 5-15 meq/100 Suelos arcillosos: 15-30 meq/100	
Interacciones: K/Mg Ca/Mg	 0,5 5	Por encima de estos valores, hay una deficiencia de Mg; y, por debajo, una deficiencia en K o Ca.
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	10 %	(Ver cuadro 6.11).

(*) Incrementar el intervalo en un 25 % aproximadamente si el suelo es arcilloso.
Fuente: adaptado de Fernández, M. *et al.*, 2014.

Cuadro 4.4
Valores de referencia en la interpretación de un análisis de extracto saturado de suelo

Parámetro	Valores óptimos	Observaciones
pH	6,5 - 7,5	(Ver cuadro 3.5).
CE_{es25}	2 - 4 dS/m	(Ver cuadro 3.6).
Calcio	10 - 60 meq/l	
Magnesio	5 - 30 meq/l	
Sodio	3,5 - 15 meq/l	
Potasio	0,9 - 5 meq/l	
Boro	0,5 - 1 meq/l	
Nitratos	2 - 6 meq/l	
Cloruros	5 - 15 meq/l	
Sulfatos	10 - 20 meq/l	
Bicarbonatos	0,1 - 2,5 meq/l	
Relaciones entre elementos:		
RAS	6 - 10	Mejor cuanto más bajo sea el valor.
K/Mg	0,25	Por encima de estos valores, hay una deficiencia del dividido; y, por debajo, hay una deficiencia del dividendo.
K/Ca	0,17	
Ca/Mg	1,55	
N/K	2,2 - 2,5	

Fuente: adaptado de Fernández, M. *et al.*, 2014.

Actividad propuesta 4.2

Interpreta los resultados del análisis de suelo de una parcela situada en Almería, con riego localizado, dedicada al cultivo al aire libre de hortícolas. Aporta algunas indicaciones básicas de manejo para el mantenimiento o la mejora de la fertilidad del suelo.

Análisis textural: Arcilla: 25 %; Limo: 35 %; Arena: 40 %

Análisis de fertilidad:

- Materia orgánica: 2,31 %
- N nítrico (ppm) = 20,08
- Fósforo (ppm) = 142
- Potasio (meq/100 g) = 1,6
- Sodio (meq/100 g) = 1,0
- Calcio (meq/100 g) = 3,9
- Magnesio (meq/100 g) = 2,5
- Suma de cationes (meq/100 g) = 9,0
- Carbonatos (%) = 11,64
- CIC total (meq/100 g) = 10

Extracto de saturación:

- pH = 8,89
- CE (mmhos/cm) = 12,87
- Sodio (meq/l) = 86,95
- Potasio (meq/l) = 22,82
- Calcio (meq/l) = 13,97
- Magnesio (meq/l) = 19,01
- Nitratos (meq/l) = 3,32
- Cloruros (meq/l) = 87,30

4.3. La práctica de la fertilización

Si bien los suelos naturales son capaces de mantener unos buenos niveles de fertilidad sin ningún aporte externo, en los sistemas agrícolas generalmente es necesaria la aplicación de fertilizantes. Realizar una fertilización de forma correcta y ajustada es vital para garantizar la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica de los sistemas agrícolas.

4.3.1. Los fertilizantes

Los *fertilizantes o abonos* son aquellos productos obtenidos bien de forma natural, bien por procedimientos químicos o de síntesis que, aportados a los vegetales, directamente o a través del agua o del suelo, proporcionan elementos nutritivos a las plantas. En una primera división, se diferencian entre abonos *orgánicos* e *inorgánicos* o minerales, si bien el RD 506/2013 los divide en siete categorías.

Actividad propuesta 4.3

En el Real Decreto 506/2013, sobre productos fertilizantes, se establecen las características y las condiciones que deben cumplir los fertilizantes. Consulta este RD e indica cuáles son los grupos de abonos, aportando algún ejemplo de cada uno. ¿Cuál es la diferencia entre abonos y enmiendas?

Puedes descargar el RD a través del código QR adjunto.

La *riqueza* de los abonos se expresa como el porcentaje (%) del elemento nutritivo concreto sobre el peso total del producto, pero en una forma molecular determinada. Las unidades empleadas en España para expresar la riqueza de elementos nutritivos son las que pueden apreciarse en el cuadro 4.5.

CUADRO 4.5
Expresión de la riqueza de un abono en elementos fertilizantes

Elemento fertilizante	Forma en que se expresa la riqueza	Factor de conversión	Elemento fertilizante	Forma en que se expresa la riqueza	Factor de conversión
N	N	-	Ca	CaO	1,40
P	P_2O_5	2,29	Mg	MgO	1,66
K	K_2O	1,21	S	SO_3	2,50

Por ejemplo, la riqueza de un fertilizante fosfatado con un contenido en fósforo (P) del 20 %, tendría un 46 % de P_2O_5, si el fósforo estuviera en esa forma molecular, siendo este valor (46 %) el que se utiliza para expresar la riqueza en fósforo del producto fertilizante. La transformación entre ambos valores se realiza multiplicando o dividiendo por un factor de conversión.

Por ejemplo, [P] × 2,29 = [P_2O_5]. Los factores de conversión para transformar estos valores se indican en el cuadro 4.5.

Es muy común en los fertilizantes utilizar la siguiente nomenclatura para describir la riqueza de su composición:

% de N – % de P_2O_5 – % de K_2O (% CaO – % MgO – %SO_3)

Por ejemplo:

- 7-14-14: Fertilizante compuesto con 7 % de N, 14 % de P_2O_5 y 14 % de K_2O.
- 13-0-46: Nitrato potásico, con 13 % de N y 46 % de K_2O.

El *equilibrio* de un abono es la relación que existe entre la riqueza en N, P y K en su composición. Se calcula dividiendo todas las riquezas por la de N. En el ejemplo anterior, el equilibrio será de 1-2-2 para el primer caso y de 1-0-3,5 para el segundo.

4.3.2. Las leyes de la fertilización

Es importante conocer algunas normas básicas que ayudan a la comprensión de cómo responden los cultivos a la fertilización e indican cuáles son los principios básicos para mantener la fertilidad en los suelos agrícolas. Son las llamadas *leyes de la fertilización*, y a continuación se exponen las más importantes.

a) Ley de las restituciones

El enunciado de esta ley dice que: "para mantener la fertilidad de un suelo hay que reintegrar todos los elementos nutritivos que las cosechas extraen". Para calcular el balance entre entradas y salidas de elementos fertilizantes en el suelo, se deben tener en cuenta las siguientes cantidades:

- Extracciones y aportaciones de las cosechas.
- Extracciones y aportaciones de la vegetación adventicia.
- Pérdidas por lavado por lluvia y riego.
- Pérdidas por erosión del suelo.
- Pérdidas por antagonismos, precipitaciones o insolubilizaciones.
- Pérdidas por volatilización de nitrógeno.

b) Ley del factor limitante

Esta ley enuncia que: "El rendimiento de la cosecha está determinado por el elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad relativa". El elemento que se encuentra en menor medida, si se encuentra por debajo del punto óptimo, se comporta como un *factor limitante* del cultivo.

c) Ley de los rendimientos decrecientes

Plantea que: "A medida que se aumentan las dosis de un elemento fertilizante, disminuye el incremento de la cosecha que se consigue por cada unidad fertilizante suministrada, hasta llegar a un momento en que los rendimientos no solo no aumentan, sino que disminuyen". Este principio describe la respuesta de los cultivos a las cantidades crecientes de fertilizantes, tal como se indica en la figura 4.4.

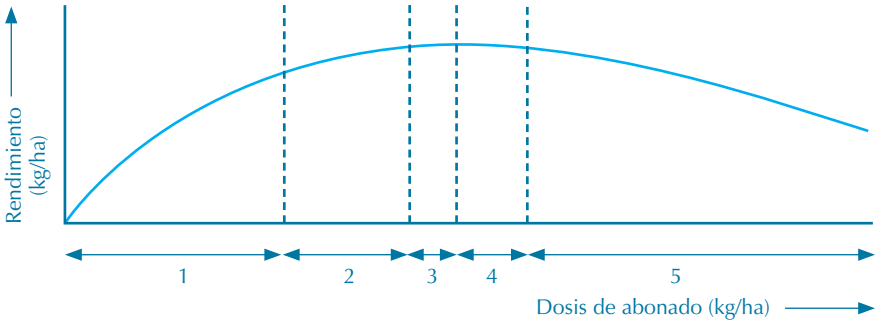


Figura 4.4 Respuesta de los cultivos a las cantidades crecientes de fertilizantes

Se observan varias zonas de respuesta de los cultivos al aporte de abonado:

1. *Deficiencia con síntomas:* síntomas visibles de carencia en la planta. A mayor abonado aportado, mayor rendimiento en el cultivo.
2. *Deficiencia sin síntomas:* no se observan síntomas visibles en la planta. Sigue incrementando el rendimiento al aportar mayor abono, aunque la respuesta es menor que en la zona anterior.
3. *Nivel óptimo:* la producción del cultivo es máxima.
4. *Consumo excesivo o consumo de lujo:* el aumento del aporte de abono no se traduce en un incremento en el cultivo.
5. *Nivel tóxico:* el aporte de abono es excesivo. Se observan síntomas de toxicidad en la planta y el rendimiento disminuye.

El *exceso de fertilización* tiene consecuencias negativas sobre la planta, sobre el suelo y en el medioambiente (salinización, contaminación de acuíferos, eutrofización, etc.). Por otra parte, los costes en fertilización superan el 20 % del coste total en algunos cultivos. Por ello se hace necesario conocer todas las variables y factores que intervienen en la fertilización para conseguir la máxima eficacia y utilizar las técnicas de fertilización de forma respetuosa con el medioambiente.

4.3.3. Formas de aplicación del abonado

En cuanto *al método de aplicación*, los abonos o fertilizantes pueden aplicarse:

a) *Directamente sobre el suelo.* En superficie o en profundidad, en formas sólidas, líquidas o gaseosas.
b) *Introducidos en el agua de riego (fertirrigación);* tanto si es por aspersión como por goteo. Son siempre formas líquidas o muy solubles.
c) *Mediante fertilización foliar.* En forma líquida o soluble. Se aplican para corregir deficiencias puntuales e inmediatas, sobre todo de micronutrientes (hierro, manganeso, cobre, etc.), ya que se precisan en pequeñísimas cantidades y se asimilan directamente.

En cuanto al momento de aplicación, hay dos formas de aplicar los abonos o fertilizantes:

1. *Abonado de fondo:* se aplica antes de la implantación del cultivo, directamente al suelo, y se entierra mediante laboreo. Se suelen distribuir de este modo el abonado orgánico, el P, el K y parte del N (preferentemente de forma ureica o amoniacal) que se vaya a aplicar. Se aplica directamente al suelo y se entierra mediante laboreo. Los abonos em-

pleados para fondo deben ser más estables y poco movibles en el suelo, para intentar mantener los nutrientes disponibles para la planta durante todo el cultivo.

2. *Abonado de cobertera:* se aplica durante el desarrollo del cultivo, en función de sus necesidades cambiantes. Se suministra fundamentalmente N, de forma nítrica (para consumo rápido) y amoniacal o ureica (para consumo algo más retardado). Se puede aplicar al suelo, a la hoja o mediante fertirrigación. Se recomienda que se fraccionen los aportes de cobertera. Por ejemplo, en frutales se recomienda que como abono de cobertera calculado para todo el cultivo se aporte un 50 % antes de la brotación, un 25 % después de la floración y el restante 25 % después de la recolección. Para la patata se recomienda aportar un 50 % con el primer aporcado y el otro 50 % con el segundo.

Tanto en fondo como en cobertera, la aplicación al suelo puede hacerse de forma localizada (en línea de cultivo o a pie de planta) o de manera uniforme como en el caso de los cereales.

En cuanto a los *objetivos que se quieran conseguir*, se observan los siguientes tipos de abonado:

1. *Abonado de mantenimiento.* Se calculan las cantidades que es necesario aportar para restituir las extracciones realizadas por los cultivos. Es el único que se aconseja realizar cuando la cantidad de elemento nutritivo en el nivel del suelo es óptimo. En suelos ricos o muy ricos (por encima de los intervalos considerados óptimos) y con buen contenido en materia orgánica, en ocasiones, se recomienda abonar solo para restituir la mitad de las extracciones, e incluso suspender temporalmente el abonado de mantenimiento.
2. *Abonado de enriquecimiento.* Se planifica la adición de un elemento nutritivo concreto para incrementar las reservas del suelo y aumentar así su presencia en el complejo de cambio y en la solución del suelo. Se lleva a cabo cuando el nivel de nutrientes en el suelo es insuficiente para asegurar las necesidades de los cultivos (es decir, se encuentra por debajo de los valores considerados óptimos).

4.4. Fertilización mineral

Los *fertilizantes minerales* son sustancias de naturaleza mineral. Pueden tener un origen natural, obteniéndose por triturado o algún otro proceso físico sobre rocas; u origen sintético, fabricándose a partir de diferentes materias primas mediante procesos químicos.

Cuadro 4.6
Ventajas y desventajas del uso de fertilizantes minerales

Ventajas	Desventajas
– Rápida asimilación. – Homogeneidad en la composición y características. – Facilidad de uso y aplicación. – Aptos para fertirrigación. – Potentes y específicos. – Más económicos, ya que se usan en menores volúmenes, dada su elevada concentración. – Amplia oferta en el mercado.	– Contaminación de acuíferos por lixiviación y escorrentía, sobre todo por nitratos. – Eutrofización de aguas. – Contaminación atmosférica por desnitrificación y volatilización del amoniaco. – Aporte de metales pesados al suelo, ya que contienen impurezas que pueden acumularse. – Elevado coste energético en los procesos de fabricación, envasado y distribución, lo que aumenta su impacto ambiental. – No aportan materia orgánica al suelo, afectando por ello al equilibrio edáfico.

Los fertilizantes minerales se pueden clasificar atendiendo a diferentes criterios:

a) Por su estado físico:

- *Líquidos:* suspensiones (soluciones sobresaturadas en las que parte de los nutrientes no están disueltos, se aplican por pulverización) y soluciones (soluciones saturadas, se utilizan en fertirrigación).
- *Sólidos:* en polvo, en gránulos, cristales, perlas, escamas, etc.
- *Gaseosos:* solo en el caso de gas amónico.

b) Por el número de elementos fertilizantes que suministran:

- *Abonos simples:* solo contienen uno de los tres elementos esenciales (N, P o K).
- *Abonos compuestos y complejos:* contienen dos o tres de los elementos principales:
  - Binarios: por ejemplo, nitrato potásico (13-0-46).
  - Ternarios: Con N, P y K. Por ejemplo, 15-15-15, 12-12-20, 8-24-8, etc.

PARA SABER MÁS

Los abonos *blending* son mezclas formadas por diferentes fertilizantes sólidos. Se ofertan "a medida", es decir, con la posibilidad de diseñar y fabricar el que mejor se ajuste a los requisitos de una determinada finca agrícola. A menudo presentan problemas de uniformidad en la distribución, debido a la heterogeneidad en la densidad de sus componentes. Por ello, se admite que, a pesar de que son más caros, los abonos complejos NPK en los cuales ha habido interacción química entre sus componentes son más eficaces agronómicamente que los abonos de mezcla o *blending*. Esto se traduce en un mayor rendimiento y calidad de las cosecha y, en consecuencia, una mayor rentabilidad para el agricultor.

RECURSO WWW

En el vídeo: "Fertilizantes minerales", de la UPV, al que puedes acceder a través del QR adjunto, puedes aprender más sobre los tipos de fertilizantes minerales y sus características.

4.4.1. Tipos y características de los fertilizantes minerales

Existe una amplia variedad de fertilizantes minerales. A continuación, se clasifican según el elemento nutritivo que aportan al cultivo.

A) Fertilizantes nitrogenados

1. *En forma nítrica:* con alta solubilidad, de asimilación rápida y muy fácilmente lavado por lixiviación o escorrentía. Se absorbe por las raíces de forma inmediata, por lo que se aporta en etapas de elevada demanda, siempre en cobertera. Por ejemplo, nitrato cálcico, nitrato sódico o nitrato sódico de Chile.
2. *En forma amoniacal:* se adsorbe en el complejo de cambio y se libera de forma más regular y continua. Necesita la transformación a nitrato (nitrificación) para ser absorbido. Se aporta como abonado de fondo y de cobertera. Por ejemplo, sulfato amónico, fosfato diamónico (DAP) o fosfato monoamónico (MAP).
3. *En forma nítrica-amoniacal:* reúne las características de las dos anteriores y su efecto es intermedio. Se aportan en cobertera. Por ejemplo, nitrato amónico.
4. *En forma ureica:* la urea se presenta en forma granulada (para aplicación en el suelo) o cristalina (para fertirrigación o aplicación foliar). La urea debe ser transformada a amonio en presencia de la enzima ureasa, y posteriormente a nitrato. Es muy soluble en agua y muy móvil en el suelo. Se aporta como abonado de fondo y de cobertera.
5. *Soluciones nitrogenadas:* son soluciones de nitrato amónico y urea en diferentes proporciones. La más utilizada es la que contiene un 32 % de N total (8 % nítrico, 8 % amoniacal y 16 % ureico). Presentan propiedades combinadas de las tres formas nitrogenadas. Se utilizan en cobertera.
6. *De liberación lenta:* se disuelven de forma gradual y van liberando los nutrientes lentamente, de manera que se reducen las pérdidas. Esto se consigue por la propia formulación química, recubriendo los gránulos con una especie de membrana o con inhibidores de la nitrificación o de la ureasa. Son más caros que los convencionales.

El único mineral nitrogenado de origen natural es el nitrato sódico de Chile. A pesar de ser natural, su uso no está autorizado en agricultura ecológica.

Se recomienda enterrar la urea con una labor para evitar pérdidas por volatilización en suelos básicos y con altas temperaturas. El resto de fertilizantes nitrogenados no es necesario enterrarlos porque son muy solubles.

Recuerda

✓ Los excedentes de nitratos aportados al suelo, que no llegan a ser absorbidos por las raíces, están expuestos a ser lavados por lixiviación y escorrentía, además de que un exceso de nitrógeno puede provocar efectos adversos sobre el cultivo. Por todo ello, debe evitarse el aporte excesivo de nitrógeno al suelo, calculando la cantidad de abono nitrogenado mineral que debe de aplicarse al terreno por la diferencia entre las dosis de abonado recomendadas y el nitrógeno asimilable aportado al suelo por otras fuentes (agua de riego, el presente en la solución del suelo al inicio del cultivo y el procedente de la mineralización de la materia orgánica presente y la aportada como enmienda). Para ello, se requiere la realización periódica de análisis de suelos y aguas.

El *Código de buenas prácticas agrarias* de cada comunidad autónoma es un compendio de normas relativas a la práctica racional de la fertilización nitrogenada. Estos códigos responden a las exigencias de la Unión Europea, en relación con la protección de las aguas contra la conta-

minación producida por nitratos utilizados en agricultura. Cada uno de ellos recoge una serie de prácticas agrarias concretas que voluntariamente pueden llevar a efecto los agricultores y que son de obligado cumplimiento en las zonas vulnerables a nitratos.

Según la Directiva Europea 91/676/CEE, se considera *zona vulnerable a nitratos de origen agrícola* a la superficie del terreno cuya escorrentía fluya hacia aguas afectadas por la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias. En estos territorios, que son declarados cada cuatro años por cada comunidad autónoma, se han de realizar análisis de suelos al inicio de la campaña, y existe la obligación de disponer de registros y documentación que acrediten la fertilización nitrogenada en un cuaderno de explotación.

RECURSO WWW

A través del visor GIS del MAPAMA, GeoPortal, al que puedes acceder a través del QR adjunto, puedes consultar las zonas vulnerables por contaminación de nitratos del territorio español.

Investiga

Busca en Internet el *Código de buenas prácticas agrarias* de tu comunidad autónoma y resume la información que contiene. Consulta las dosis de fertilización nitrogenada (kg/ha) recomendadas para cada cultivo.

B) Fertilizantes fosfóricos

Los *fertilizantes fosforados* suelen clasificarse atendiendo a si son más *solubles* (superfosfatos, fosfato amónico, nitrosulfato); *hiposolubles* (fosfato bicálcico y escorias Thomas) o *insolubles* (fosfatos naturales). Los últimos pueden ser añadidos al estiércol o al compost durante su maduración para aumentar su solubilidad. Las escorias Thomas y los fosfatos naturales están autorizados en agricultura ecológica.

El fósforo se aplica en abonado de fondo, la mayoría de las ocasiones formando parte de productos complejos. Se aconseja su enterramiento para localizar los nutrientes cerca de las raíces, dada su baja movilidad en el suelo.

Si el suelo no posee una reserva de fósforo suficiente (cuadro 4.3), se recomienda realizar una un abonado de enriquecimiento, consistente en agregar 300 kg/ha de P_2O_5 para suelos con pH inferior a 7,8, y 800 kg/ha si el pH es mayor a este valor, repartidos entre tres y diez años, a las extracciones de los cultivos (abonado de mantenimiento).

C) Fertilizantes potásicos

El potasio no tiene problemas de solubilidad y además es adsorbido por el complejo arcillo-húmico, por lo que no suelen darse pérdidas por lixiviación. El criterio más importante

para seleccionar fertilizantes potásicos es la presencia de cloro y de sodio, que pueden plantear problemas en cultivos sensibles o en suelos con problemas de estabilidad.

Los fertilizantes potásicos más empleados son el cloruro potásico, el sulfato potásico y el nitrato potásico. Como productos naturales y autorizados según el reglamento de agricultura ecológica, se encuentran el óxido de potasio, el Patentkali® (sulfato natural de potasio y magnesio), el cloruro de potasa, la potasa azucarera y las cenizas de madera y hulla.

Se aportan como abonado de fondo o como constituyentes de abonos mezcla, incorporando N y P.

Se recomienda enterrar los abonos potásicos situándolos al alcance de las raíces, ya que su movilidad en el suelo es muy pequeña.

Como en el abonado fosfórico, en los suelos con bajo K asimilable (cuadros 4.3 y 4.4), se recomienda realizar, además del abonado de mantenimiento, un abonado de enriquecimiento, que puede consistir en aplicar entre un 50 y un 25 % de las cantidades extraídas por el cultivo, durante unos cinco años. En los suelos muy ricos en potasio, se puede suspender temporalmente la fertilización potásica, evitando así el "consumo de lujo" característico de este elemento, que consiste en que las plantas absorben más potasa cuanta más disponen, sin aumentar el rendimiento.

D) Fertilizantes azufrados

Las pérdidas de S por lavado pueden ser muy importantes en suelos sin complejo de cambio o en climas lluviosos, ya que los sulfatos son muy móviles en el suelo.

Dado que se aplica indirectamente en muchos fertilizantes como el sulfato amónico, el nitrosulfato, sulfato potásico, etc., no suele ser necesario tener que aportar este elemento, excepto en cultivos muy exigentes en S, como las crucíferas, y cuando no se aporte estiércol. Son fertilizantes simples con elevado contenido en azufre: el ácido sulfúrico y el azufre elemental.

La cantidad de materia orgánica en el suelo es mejor indicativo del nivel de azufre en el suelo que el dato de concentración en este elemento aportado por los análisis de suelo.

E) Fertilizantes magnésicos

Son fertilizantes magnésicos las rocas silíceas, el Patentkali®, las dolomitas, la magnesita, el sulfato de magnesio natural (todas aprobadas en agricultura ecológica) o productos complejos y quelatos de Mg para fertilización foliar. Las necesidades de los cultivos están cubiertas cuando el Mg^{2+} se encuentra al menos en un 6 % del CIC.

F) Fertilizantes férricos

Si bien las exigencias de los cultivos en cuanto a este elemento son muy pequeñas, su disponibilidad en el suelo es mínima, sobre todo con un pH por encima de 7,5, apareciendo con frecuencia síntomas de clorosis férrica en los cultivos. El hierro se asocia fácilmente a moléculas orgánicas con las que forma *quelatos*, que quedan protegidos de las reacciones de reducción que tienen lugar en el suelo a ciertos niveles de pH. De entre los quelatos utilizados en agricultura,

destacan el EDTA-Fe (estable con pH menores de 6,3), DTPA-Fe (estable con pH inferiores a 7,5) y el EDDHA-Fe (estable con pH entre 4 y 9).

Las pulverizaciones foliares con Fe reverdecen las hojas con síntomas de carencias, pero dada su inmovilidad por el floema, no beneficia a las brotaciones posteriores. Otras formas de tratamiento son inyecciones de quelatos al tronco y, en frutales, la utilización de patrones resistentes a la clorosis férrica.

G) Fertilizantes organominerales

Son mezclas de materia orgánica con nutrientes minerales (N, P, Mg, Mn, etc.). Vienen normalmente granulados. Son apropiados como abonado de fondo.

H) Fertilizantes ricos en microelementos

Son productos diseñados para corregir cualquier carencia concreta de un elemento o de varios a la vez. Algunos, llamados *A-Z,* llevan todos los microelementos que necesitan las plantas. Pueden ser aplicados en el agua de riego o incorporados al suelo, si bien la vía foliar y quelatada suelen ser las formas más frecuentes de aplicación.

RECURSO ELECTRÓNICO 4.2

En el anexo web 4.2, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre las características de algunos de los fertilizantes minerales más utilizados.

Actividad propuesta 4.4

Realiza una tabla en la que se indique qué parámetros se utilizan para determinar la fertilidad del suelo para cada macroelemento y cuáles son las recomendaciones de abonado en función de si esta es óptima o si está por encima o por debajo de los valores de referencia, incluyendo su riqueza.

4.4.2. Planificación y cálculo de la fertilización mineral

Para determinar la *dosis de abonado* hay tener en cuenta los análisis de suelo, foliar y agua de riego, así como las extracciones del cultivo, las cuales dependen del rendimiento esperado. Las dosis recomendadas deben revisarse a la baja si la producción está limitada por algún factor climático.

El N aportado en forma nítrica, según la concentración de nitratos en el agua y el volumen aplicado en el riego, puede estimarse con el siguiente cálculo:

$$N\ (g) = \text{Nitratos}\ (meq/l) \times \text{volumen}\ (m^3) \times 14 \times Ea$$
$$N\ (g) = \text{Nitratos}\ (mg/l) \times \text{volumen}\ (m^3) \times 0{,}226 \times Ea$$

Siendo Ea la *eficiencia de aplicación*, que considera la pérdida de agua, y que varía según el método de riego. Sus valores pueden oscilar entre 0,4 y 0,8 en el riego por inundación, y entre 0,75 y 0,9 en el riego localizado (cuadro 5.10).

Por ejemplo, si en una parcela se riega con agua con una concentración de nitratos de 1,3 meq/l, y con una Ea = 0,8, se está aportando por cada m^3 de agua 1,3 × 14 × 0,8 lo que da como resultado 14,6 g de N en forma nítrica.

Para definir el *momento de aplicación* del abono hay que conocer el ciclo de la planta, la forma y momento de absorción de los nutrientes y su comportamiento en el suelo, así como las características del clima (temperatura, lluvias…). Se deben aplicar los fertilizantes en ausencia de viento y lluvia, especialmente si se aplican por vía foliar. En cuanto a la aplicación de abonado nitrogenado, debe evitarse la aplicación en otoño e invierno y realizar aplicaciones fraccionadas, máxime en terrenos arenosos y poco profundos.

Para seleccionar el *tipo de fertilizante* es importante tener en cuenta cómo se va a aplicar (por fertirrigación, foliarmente o sobre el suelo), si el cultivo es de secano o regadío, la forma de localizar el abono y el coste por unidad de fertilizante. Uno de los aspectos más importantes que conviene tener en cuenta es el pH del suelo. En suelos con pH ácido, deben utilizarse fertilizantes con reacción básica, mientras que en suelos con pH mayor que 7, los abonos deben tener reacción ácida o, al menos, neutra.

En cuanto a la *localización* de los abonos puede ser en superficie sobre el suelo (en toda la superficie o en líneas), sobre la vegetación, enterrados o inyectados en el suelo. La localización de los abonos parece ser más efectiva y generar un menor impacto sobre el medio. Hay que tener en cuenta, además, que no está permitido aplicar fertilizantes a una distancia menor a 3 m para cursos de agua, 50 m para pozos o 200 m para manantiales.

Ejercicios resueltos

4.1. Realiza la planificación del abonado de mantenimiento de un cultivo de tomate en rama al aire libre, situado en Segorbe, de 0,75 ha, mediante fertilización mineral. Las recomendaciones de abonado mineral, según Maroto (1995), son las siguientes:

– Abonado de fondo:

N	P_2O_5	K_2O
50 kg/ha	100 kg/ha	200 kg/ha

– Abonado de cobertera: 100 kg/ha de N, escalonadamente en cuatro aplicaciones.

a) Cálculo de las necesidades de elementos fertilizantes totales de la parcela:

– Fondo: N → 50 × 0,75 = 37,5 kg
P_2O_5 → 100 × 0,75 = 75,0 kg
K_2O → 200 × 0,75 = 150,0 kg
– Cobertera: N → 100 × 0,75 = 75 kg

b) De los fertilizantes que se van a utilizar (consulta la riqueza y las características de estos en el recurso electrónico 4.2). Al estar situado en Segorbe, una zona con suelos de reacción básica, se ha optado por fertilizantes de reacción ácida:

- Fondo: para facilitar el cálculo se seleccionan los siguientes abonos simples: sulfato amónico (21-0-0), ácido fosfórico (0-50-0) y sulfato de potasio (0-0-50).
- Cobertera: se selecciona el nitrato amónico (33,5-0-0).

b) Cálculo de las necesidades de fertilizantes seleccionados:

- Si 100 kg de sulfato amónico aportan 21 kg de N
  x kg " " " " 37,5 " " " → x = 178,57 kg de sulfato amónico.
- Si 100 kg de ácido fosfórico aportan 50 kg de P_2O_5
  x kg " " " " 75 " " " → x = 150 kg de ácido fosfórico.
- Si 100 kg de sulfato de potasio aportan 50 kg de K_2O
  x kg " " " " " 150 " " " → x = 300 kg de sulfato de potasio.
- Si 100 kg de nitrato amónico aportan 33,5 kg de N
  x kg " " " " 75 " " → x = 223,88 kg de nitrato amónico, 55,97 kg por aplicación).

4.2. Las necesidades del cultivo de clavel en invernadero son las siguientes:

N	P_2O_5	K_2O	MgO
120 g/m^2	25 g/m^2	119 g/m^2	20 g/m^2

Se dispone de los siguientes abonos complejos ternarios: 15-15-15 y 15-3-15. Selecciona el más adecuado, justificando la respuesta, y calcula la cantidad de fertilizante escogido para una parcela de 2000 m^2. Selecciona un producto para aportar el magnesio y calcula la cantidad que sería necesario utilizar.

a) Cálculo del equilibrio entre los elementos fertilizantes que necesita el cultivo y el de los fertilizantes entre sí:

- Equilibrio de las necesidades del cultivo: (120/120, 25/120, 119/120) = = (1,0;2,1).
- Equilibrio de los fertilizantes: 15-15-15: (15/15, 15/15, 15/15) = (1,1,1); 15-3-15: (15/15, 3/15, 15/15) = (1,0;2,1).

Obviamente, el fertilizante que más se adapta a las necesidades del clavel es el 15-3-15.

b) Cálculo de la cantidad de fertilizante que sería necesario utilizar:

Una vez seleccionado el complejo 15-3-15, se calcula la cantidad en base a las necesidades de N: si se necesitan 120 g /m^2 de N, en 2000 m^2, se necesitarán 120 × 2000/1000 = 240 kg de N.

- Si 100 kg de 15-3-15 aportan 15 kg de N
  x kg " " 240 " "

Luego x = 240 × 100/15 = 1600 kg de 15-15-15.

c) Para aportar el magnesio, se puede optar por el sulfato magnésico, con un 10 % de riqueza en MgO. En total se necesitan 20 × 2000/1000 = 40 kg de MgO.

– Si 100 kg de sulfato de magnesio aportan 10 kg de N.
x kg " " " " " 40 " " "

Luego x = 40 × 100 / 10 = 400 kg de sulfato de magnesio.

Las necesidades de fertilización, en general, no se cubren con exactitud con un abono ternario. Si los equilibrios entre las necesidades y el fertilizante son muy diferentes, habría que complementar con otro fertilizante.

Recuerda

- ✓ Las necesidades de fertilización de cultivos herbáceos suelen darse en kg/ha o en g/m^2, generalmente, en relación con su rendimiento esperado.
- ✓ UF o *unidades fertilizantes* es equivalente a kg/ha. Es un término que cada vez se utiliza menos, así que es mejor no utilizarlo, ya que con frecuencia no se utiliza correctamente.

Actividad propuesta 4.5

Realiza la planificación del abonado de un cultivo de dos hectáreas de col-repollo al aire libre, conociendo que las recomendaciones de abonado las siguientes:

Estiércol	N	P_2O_5	K_2O
35 t/ha	125 kg/ha	75 kg/ha	175 kg/ha

Teniendo en cuenta que $^2/_3$ del N total deben aportarse en fondo, y $^1/_3$ en cobertera.
Calcula los kg/ha de N en forma nítrica que se aportan con un volumen de riego de 3000 m^3 por ha y año si el agua contiene una cantidad de nitratos de 125 mg/l.

4.5. Fertilización orgánica

Un *abono orgánico* es toda sustancia de origen vegetal o animal que se incorpora al suelo para mejorar su fertilidad a través del aumento de su contenido en materia orgánica. Los abonos orgánicos mejoran tanto la fertilidad química de un suelo como la fertilidad física y biológica: aumentan la disponibilidad de nutrientes al suelo, así como también mejoran su estabilidad, disminuyen el riesgo de erosión y potencian la biodiversidad edáfica y la actividad biológica de la rizosfera. El abonado orgánico puede tener varios objetivos:

a) Conservar el nivel de materia orgánica en suelos con buen contenido en la misma o elevarlo en suelos pobres.

b) Aportar nitrógeno rápidamente disponible por las plantas.
c) Aumentar y favorecer la actividad biológica y la biodiversidad del suelo.

En cualquier caso, los aportes orgánicos deben aplicarse con moderación para evitar desequilibrios en el suelo y en la planta, y así como limitar la lixiviación de nitratos que terminen contaminando los acuíferos.

4.5.1. Tipos de fertilizantes orgánicos

La materia orgánica que se aporta al suelo para compensar la que se pierde por mineralización puede clasificarse en dos grandes grupos, que presentan diferentes valores en la relación C/N de su composición:

a) *Materiales orgánicos ricos en azúcares solubles y en nitrógeno, con C/N<25.* Se mineralizan rápidamente y activan la flora microbiana. Sin embargo, estos efectos son de corta duración, siendo muy bajo el rendimiento en humus. En este grupo se incluyen los estiércoles poco hechos, los abonos verdes y los restos de cosechas poco lignificados.
b) *Materiales orgánicos ricos en celulosa y lignina, con C/N>25.* Se descomponen lentamente y tienen una mayor capacidad que los anteriores para producir humus. A este grupo pertenecen el compost y el estiércol muy maduro o la paja de cereales. El problema que pueden presentar algunos de estos residuos es la carencia temporal de nitrógeno en el suelo ("hambre de nitrógeno").

RECURSO ELECTRÓNICO 4.3

En el anexo web 4.3, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los principales abonos o enmiendas orgánicas como el estiércol, los purines, el compost y las sustancias húmicas, entre otros; y sus características particulares.

4.5.2. Cálculo de la fertilización orgánica

Las ganancias de materia orgánica en un suelo se producen por varias vías:

a) *Residuos de cultivo*. Son variables dependiendo de la especie cultivada. Una vez que estos se entierran, se tienen que humificar.
b) *Fertilización orgánica*. Los fertilizantes orgánicos más importantes son los estiércoles, pero existen otros fertilizantes orgánicos (compost, ácidos húmicos, residuos de la industria, etc.).
c) *Abonos verdes*. Se cultivan en la parcela para incorporar la materia orgánica generada y para evitar erosión.

El *coeficiente isohúmico* (k_1) es la cantidad de humus que se forma en un año a partir de un kilogramo de materia orgánica seca, si las condiciones son óptimas (elevada población microbiana, adecuada aireación del suelo, y humedad intermedia).

$$G = k_1 \times PF \times ms/100$$

Donde: G: materia orgánica humificada en un año (t).
k_1 = coeficiente isohúmico.
PF = materia orgánica aportada (en peso fresco).
ms = porcentaje (%) de materia seca de la materia orgánica.

Las ganancias totales de materia orgánica humificada en un año, en un suelo determinado, es la suma de todos los aportes.

Cuadro 4.7
Valores más habituales aportados para el coeficiente isohúmico (k_1) y el contenido en materia seca (ms) de diferentes abonos orgánicos

Abono orgánico	K_1	Materia seca (%)
Turba	1	75
Paja de cereal	0,10 - 0,20	85 - 90
Residuos secos de cosechas	0,10 - 0,20	50 - 85
Residuos verdes de cosechas	0,20 - 0,30	18 - 20
Estiércoles bien compostados de bovino u ovino	0,40 - 0,50	18 - 24
Estiércoles poco compostados	0,15 - 0,30	26 - 30
Orujo de uva	0,4	30

Por ejemplo, el aporte de una tonelada de estiércol bien descompuesto con un 20 % de ms y un valor de $k_1 = 0,5$ proporciona una cantidad de humus de ($G = 0,5 \times 1 \times 20 / 100$) 0,1 tonelada, lo que equivale a 100 kg en un año.

Las pérdidas de materia orgánica en un suelo se producen por mineralización, y pueden calcularse con la siguiente fórmula:

$$P = k_2 \times MO$$

Siendo: P = pérdidas de materia orgánica en un año (t/ha).
k_2 = coeficiente de mineralización.
MO = materia orgánica del suelo (t/ha) = 10 000 × p × da × mo
p = profundidad del suelo (m).
da = densidad aparente del suelo (t/m^3). Tiene un valor medio de 1,5 t/m^3.
mo = materia orgánica presente en el suelo (en tanto por uno).

El *coeficiente de mineralización* (k_2) es el porcentaje de humus estable que se mineraliza en un año. Depende de condiciones climáticas (temperatura, humedad, etc.) y de las características del suelo (pH, aireación). En los suelos arenosos el coeficiente de mineralización del humus oscila entre 0,02 y 0,03, y en los arcillosos entre 0,005 y 0,015, situándose los valores medios entre 0,015 y 0,02 por año (1,5-2%).

Por ejemplo, un suelo con un 2 % de materia orgánica y $k_2 = 0,01$ (1 %), pierde por mineralización en un año la siguiente cantidad de humus en sus 20 primeros centímetros:

$$P = k_2 \times MO = k_2 \times 10\,000 \times p \times da \times mo$$
$$P = 0{,}01 \times 10\,000 \times 0{,}2 \times 1{,}5 \times 0{,}02 = 0{,}6\ t = 600\ kg/ha$$

Una vez calculadas las pérdidas y las ganancias, puede determinarse el balance de materia orgánica en un suelo.

Balance de humus en el suelo = Ganancias – pérdidas

CUADRO 4.8
Composición media de algunos abonos orgánicos

Tipo de fertilizante	Materia seca (%)	N (kg/t de materia fresca)	P_2O_5 (kg/t de materia fresca)	K_2O (kg/t de materia fresca)
Vacuno	32	20	13	20
Oveja	35	25	15-20	35-40
Cerdo	25	15-20	14	18
Gallinaza	28	30-50	30-150	20-25
Purines	8	2-4 (*)	3 (*)	0,4 (*)
Lodos de depuradora	25	20-70		
Compost RSU	60	10-18		

(*) Referido a materia húmeda.

RECUERDA

✓ Los factores que se deben considerar en la selección y la aplicación de material orgánico al suelo son:

- Coeficiente isohúmico (k_1).
- Composición del abono:
  - Riqueza en NPK y otros elementos fertilizantes.
  - Reacción ácida o básica (pH): en general, es ácida excepto en la gallinaza.
  - Relación C/N.
- Disponibilidad y precio.
- Otros: heterogeneidad, toxicidades, malos olores...

4.5.3. Abonado en verde

Un abonado en verde es un cultivo que se planta con el objetivo de segarlo e incorporarlo al suelo, del que no se obtiene una cosecha o beneficio económico directo. La finalidad de los abonos verdes es mejorar las condiciones biológicas, físicas y nutricionales del suelo.

El *abonado en verde* tiene múltiples beneficios en el agroecosistema, ya que se mantiene la actividad biológica del suelo mediante la formación de humus joven, que evoluciona rápidamente y es rico en nitrógeno. Con ellos, se ocupa el terreno en otoño e invierno, que queda protegido de la erosión. Si se entierra en la época adecuada, además, contribuye al control de la vegetación adventicia. Sin embargo, estos cultivos también presentan inconvenientes, como el consumo de agua y el coste de mantener un cultivo sobre el que no se obtiene ningún beneficio económico directo.

Las especies más usadas como abono verde son las leguminosas por su capacidad de fijación de N atmosférico, complementadas con gramíneas (buenas formadoras de humus) y crucíferas (interesantes por su elevada profundidad de raíces). Deben elegirse especies autóctonas, resistentes y con pocas exigencias, de ciclo corto, como:

a) *Leguminosas.* Habas (*Vicia faba*), veza (*Vicia sativa*), que pueden ser mezcladas con cebada o avena, altramuces (*Lupinus albus*), alfalfa (*Medicago sativa*) o melilotos (*Melilotus officinalis*).
b) *Gramíneas.* Centeno (*Secale cereale*), cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*), etc.
c) *Crucíferas.* Colza (*Brassica napus*), mostaza blanca (*Sinapis alba*) o nabina (*Brassica rapa*).

El valor fertilizante o mejorador de un abono verde depende de su capacidad para generar humus y para fijar o reciclar nutrientes minerales. Su contenido en materia seca suele ser del 15 al 20 %, con un coeficiente isohúmico (k_1) de 0,2 a 0,3. El rendimiento de un buen abono verde (haba, altramuz, etc.) es de 25 a 30 t/ha. Entonces, el humus formado anualmente es de 1000 a 1200 kg /ha; equivalente a aplicar 10 a 12 t/ha de estiércol.

Si se emplean leguminosas puede obtenerse una fijación de 40 a 150 kg/ha de nitrógeno por año. Del N aportado al suelo por leguminosas, el cultivo siguiente aprovecha entre el 15 %, en especies polianuales o muy lignificadas, y el 80 %, en especies herbáceas con baja relación C/N.

4.5.4. Aplicación de abonos orgánicos

Los abonos orgánicos se esparcen durante las labores de preparación del terreno y se incorporan al mismo como abonados de fondo.

Existen formulaciones orgánicas líquidas, solubles en agua, como ácidos húmicos o fúlvicos, que a veces llevan otros elementos nutritivos y que pueden utilizarse en fertirrigación.

Siguiendo la Directiva Europea 91/676/CEE y el Real Decreto 261/1996, la cantidad máxima de materia orgánica que puede aplicarse en un cultivo por hectárea y año es la que contiene 170 kg de N total, debido a la liberación de nitratos. Para determinar la cantidad de N aplicados debe contarse con el análisis de la materia orgánica que vaya a emplearse, incluyendo en los balances de fertilización los nutrientes liberados según su evolución en el suelo, principalmente condicionado por la relación C/N. En caso de no disponer de análisis completos, se estima la cantidad que se va a aportar según las tablas de referencia, que dependen de factores como las características del abono, el cultivo que se va a abonar, el cultivo precedente, el tipo de suelo, etc.

El resultado de los cálculos de enmienda orgánica suele dar cantidades mayores de las que el suelo es capaz de admitir en una sola vez. Por ello, lo habitual es aportar durante varios años la

cantidad máxima permitida por la normativa. Por otra parte, los aportes moderados y repetidos son preferibles a los aportes masivos, sobre todo en suelos arenosos.

Ejercicios resueltos

4.3. Calcula el estiércol maduro que es necesario aportar en un suelo con el 3 % de materia orgánica para mantener dicho nivel. La profundidad del suelo es del 0,30 m.

A falta de más datos, se estiman los siguientes valores medios:

Estiércol: % ms del estiércol = 20 % y $k_1 = 0,45$
Suelo: Densidad aparente = 1,5 t/m^3 y $k_2 = 0,015$

Pérdidas de humus en un año:

$P = k_2 \cdot MO = k_2 \cdot 10\,000 \cdot p \cdot da \cdot mo \rightarrow P = 0,015 \cdot 10\,000 \cdot 0,3 \cdot 1,5 \cdot 0,03 = 2,03$ t $\simeq 2$ t.

Para restituir esas 2 t de humus con el estiércol disponible, hay que aportar:

$G = k_1 \cdot PF \cdot ms/100 \rightarrow 2 = 0,45 \cdot PF \cdot 20/100 \rightarrow PF = 22,23$ t/ha

4.4. Calcula el estiércol maduro que es necesario aportar en un suelo para aumentar la materia orgánica de un 1,5 a un 2 % en una profundidad de 20 cm.

Un aumento del 0,5 % de humus en el suelo supone un aumento de una cantidad de humus igual a:

$MO = 10\,000 \cdot p \cdot da \cdot mo = 10\,000 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \times 0,005 = 15$ t/ha.
15 t/ha de humus se consiguen con una cantidad de estiércol de $G = k_1 \cdot PF \cdot ms/100 \rightarrow 15 = 0,45 \cdot x \cdot 20/100 \rightarrow x = 167$ t/ha.

La cantidad máxima de estiércol que es necesario aportar en un año es de 170 kg de N al año, lo que se alcanza con 75,9 t /ha de estiércol con un contenido de 7 kg/t de N y un 32 % de ms. La solución para incrementar el porcentaje de mo del suelo es aportar durante dos o tres años la cantidad máxima permitida de estiércol.

Actividades propuestas

4.6. Calcula la cantidad de compost de residuos sólidos urbanos máxima que puede aportarse en un suelo por hectárea y año.
4.7. Calcula el purín que es necesario aportar en un suelo con el 2 % de materia orgánica para mantener dicho nivel. La profundidad del suelo es del 0,30 m.
4.8. Suponiendo que se cultiva un abono verde con un rendimiento de 20 t/ha con un k1 = = 0,20, calcula las necesidades de purín en el caso expuesto en la actividad anterior.

4.6. Bioestimulantes y biofertilizantes

Los *bioestimulantes* son sustancias que, sin ser nutrientes ni mejoradores del suelo, contienen compuestos o microorganismos que activan el metabolismo del cultivo, mejoran el aprovechamiento de los nutrientes o incrementan la resistencia a diferentes tipos de estrés biótico o abiótico, lo que se traduce en una mejora de la calidad y cantidad de las cosechas.

Son sustancias de muy distinta naturaleza y no existe una normativa que regule de forma concreta su uso. La mayoría de ellas puede incluirse en uno de los siguientes grupos:

a) *Productos que contienen ácidos húmicos y fúlvicos:* además del efecto de las sustancias húmicas como mejoradoras del suelo, se ha comprobado un efecto bioestimulante de las mismas, que parece tener relación con la producción de hormonas y otras sustancias que aumentan la resistencia al estrés.

b) *Productos con aminoácidos:* los aminoácidos son moléculas orgánicas ricas en N, con bajo peso molecular. Los que se utilizan en estos preparados provienen de la hidrólisis de proteínas vegetales o animales, por acción de microorganismos. Son fertilizantes de asimilación rápida, pero, además, aumentan la movilidad de algunos micronutrientes y disminuyen los daños por estrés. Incrementan la masa microbiana del suelo y su actividad.

c) *Extractos de algas:* contienen polisacáridos, macro y micronutrientes, hormonas y otras sustancias activadoras.

d) *Biofertilizantes:* productos con uno o varios microorganismos beneficiosos. Entre ellos se encuentran:

- Fijadores de N atmosférico de forma simbiótica (*Rhizobium*) y no simbiótico (*Azotobacter*).
- Solubilizadores de P (*Pseudomonas, Mycobacterium, Micrococcus, Bacillus*…).
- Captación de P y otros nutrientes (N, Fe y Cu): endomicorrizas.
- Promotores del crecimiento: microorganismos que, durante su actividad metabólica, son capaces de producir y liberar sustancias reguladoras de crecimiento para las plantas, antibióticos... (*Azotobacter, Rhizobium,* micorrizas).

Se aplican foliarmente o sobre el suelo directamente, antes o después de la siembra del cultivo, mediante aspersión o en el surco de siembra o sobre toda la superficie. Otros se mezclan con la semilla. La forma, dosis y época de aplicación dependen de la concentración del producto y de la recomendación del fabricante.

4.7. Almacenaje, distribución y aplicación de abonos

Para el *almacenamiento* de los abonos sólidos hay que tener en cuenta su tendencia a aglomerarse debido a la humedad (son sustancias higroscópicas), los cambios de temperatura, la granulometría y la presión a la que están sometidos. Para evitar que se apelmacen, deben almacenarse correctamente, aislados del suelo y de corrientes húmedas. Para el almacenamiento de abonos líquidos, se fabrican cisternas de capacidades entre 3 y 20 m^3, fijas o transportables, rígidas o plegables, de diferentes materiales. El amoniaco anhidro es un caso especial, ya que es un abono

gaseoso que se almacena en forma líquida y se expande en el momento de su aplicación mediante microinyectores.

La oferta de *equipos* para la distribución de fertilizantes sólidos (abonadoras) es variada, al igual que sus prestaciones. Según su sistema de distribución, las abonadoras se clasifican en abonadoras por gravedad, centrífugas o de proyección, neumáticas y localizadoras. Para la distribución de abonos líquidos se utilizan pulverizadores convencionales o equipos específicos, en el caso de soluciones saturadas, muy viscosas. Los estiércoles, lodos y purines se distribuyen con remolques para estiércol y lodos, y cisternas para purines, arrastradas mediante tractor.

Mención aparte merecen los equipos para fertirrigación a través de riego de alta frecuencia. Estos pueden utilizar sistemas con inyección activa o pasiva. Consisten en tanques situados en el cabezal de riego, en los que se disuelven los abonos para preparar las soluciones madre, inyectores de abono (pasivos o con bomba inyectora), filtros y dispositivos para la automatización.

RECURSOS WWW

A través de los enlaces al Instituto Navarro de Salud Laboral enlazados en estos QR puedes consultar información sobre los riesgos y las medidas de prevención asociadas al empleo de fertilizantes y al manejo de los equipos de fertilización, así como las rutinas, pautas de manejo y medidas de protección necesarias para trabajar con ellos en condiciones seguras.

① ②

RECURSO ELECTRÓNICO 4.4

En el anexo web 4.4, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre la maquinaria para la distribución de fertilizantes.

RECURSO WWW

En el QR adjunto puedes encontrar información sobre el sistema de gestión de envases de productos agrarios (entre los que se incluyen fertilizantes y plaguicidas), denominado Sistema Integrado de Gestión de Fitosanitarios (SIGFITO).

Este sistema ayuda a la preservación del medioambiente a través de la gestión de envases agrarios, los cuales son depositados en unos puntos de recogida, para que posteriormente se les dé un tratamiento medioambiental adecuado y conforme a la Ley 11/1997 y el Real Decreto 1416/2001. De esta manera se facilita al usuario final la gestión del residuo y el cumplimiento de la legislación. Hay que tener siempre presente que, antes que el reciclado, lo más conveniente es la reducción de la generación de envases de todo tipo.

Resumen

- La fertilidad agronómica del suelo solo es posible si los procesos más importantes que intervienen en el mismo funcionan de manera equilibrada. La fertilidad de un suelo viene determinada por unos factores naturales (suelo y clima) impuestos y otros relacionados con las prácticas de cultivo (riego, fertilizantes, enmiendas, laboreo, asociaciones, cubiertas verdes, etc.), que el agricultor puede modificar. Los elementos nutritivos que los cultivos necesitan deben restituirse en el suelo mediante prácticas de fertilización. Una adecuada práctica de la fertilización orgánica mejora todos los parámetros físicos, químicos y biológicos. Los aportes de estiércol, compost, residuos de cosecha, etc., tienen una función insustituible sobre la dinámica del suelo. La fertilización mineral, aunque de uso muy extendido, consigue mejorar la disponibilidad de nutrientes, pero su uso presenta numerosas desventajas medioambientales y económicas que hay que conocer.

Supuesto práctico

Planifica el abonado mineral para una superficie de 3 ha de olivos, con un rendimiento esperado de 8000 kg de aceituna/ha, sabiendo que las cantidades recomendadas por 1000 kg /ha de aceituna producida son las siguientes:

N	P_2O_5	K_2O
15 kg	4 kg	25 kg

Se dispone de dos abonos complejos: 15-5-30 y 12-10-17.

Actividades de autoevaluación

1. Son microelementos esenciales para las plantas:
   - ☐ *a)* Cu, B y Cl.
   - ☐ *b)* Br, Al y Cd.
   - ☐ *c)* Na, Ni y F.
   - ☐ *d)* Fe, Mn, Mo y Zn.

2. El nitrógeno en forma nítrica:
   - ☐ *a)* Es apropiado para abonado de fondo.
   - ☐ *b)* En su mayor parte se transforma en forma ureica en el suelo por acción microbiana.
   - ☐ *c)* Se lava más fácilmente en el suelo que en forma amoniacal.
   - ☐ *d)* Se adsorbe en el complejo de cambio.

3. El compost maduro y la paja de cereales:
   - ☐ *a)* Tienen una relación C/N>25.
   - ☐ *b)* Se mineralizan rápidamente en el suelo.
   - ☐ *c)* Tienen un coeficiente isohúmico muy bajo.
   - ☐ *d)* Son materiales orgánicos ricos en celulosa y lignina.

4. La fertilidad agronómica del suelo:
   - ☐ *a)* Es un indicador de la sostenibilidad de los agroecosistemas.
   - ☐ *b)* Solo es posible en un suelo equilibrado a nivel físico, químico y biológico.
   - ☐ *c)* Se basa en la biodiversidad del suelo.
   - ☐ *d)* Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

5. El equilibrio del abono complejo 10-12-20 es:
   - ☐ *a)* 0,5- 0,3-1.
   - ☐ *b)* 1-1,2-2.
   - ☐ *c)* 10-12-20.
   - ☐ *d)* Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

SOLUCIONES:

1. **a** b c **d** **3.** **a** b c **d** **5.** a **b** c d
2. a b **c** d **4.** **a** **b** **c** d

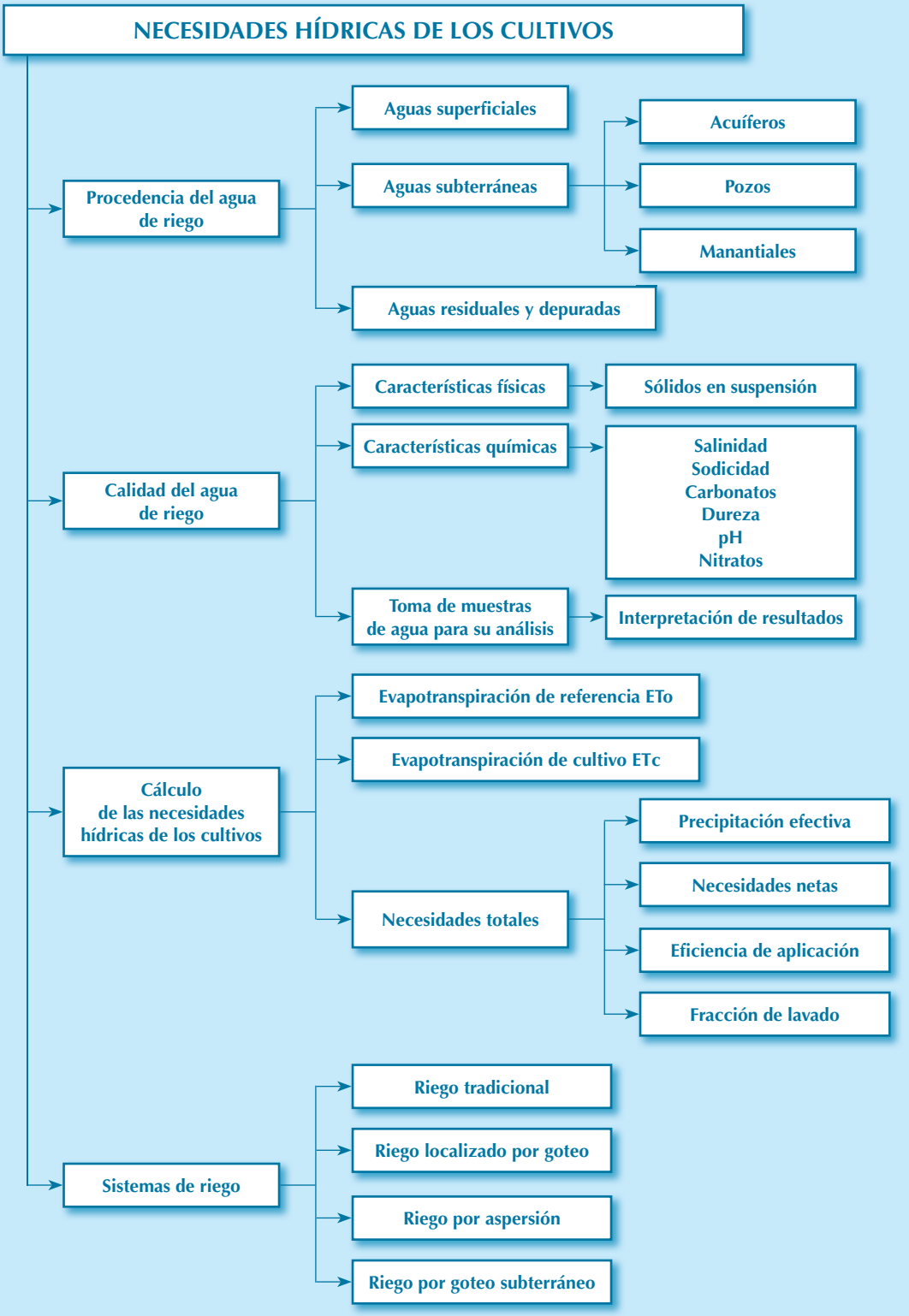
5

Necesidades hídricas de los cultivos

Objetivos

- ✓ Identificar las diferentes procedencias de las aguas que se utilizan para riego.
- ✓ Conocer los sistemas utilizados para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos.
- ✓ Aprender a tomar muestras de agua de riego para su análisis.
- ✓ Interpretar los resultados de un análisis de agua de riego y relacionarlos con sus efectos en los cultivos y en el suelo.
- ✓ Valorar las principales problemáticas de las aguas de baja calidad para riego y posibles alternativas o soluciones.
- ✓ Conocer los sistemas de riego más utilizados y sus características principales, así como sus ventajas e inconvenientes.
- ✓ Reflexionar sobre el uso de los sistemas de riego y las posibilidades de ahorro de agua utilizando las técnicas más apropiadas.

Mapa conceptual



Glosario

Demanda biológica de oxígeno (DBO). Cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en una muestra líquida. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg O_2/l).

Demanda química de oxígeno (DQO). Cantidad de oxígeno que se emplea en oxidar por medios químicos las sustancias disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se expresa en miligramos de oxígeno por litro(mg O_2/l).

Intrusión marina. Es el proceso por el cual el agua salada (procedente del mar) fluye hacia el subsuelo continental mezclándose con las reservas de agua dulce.

Lixiviación. Proceso por el cual las aguas de lluvia o riego arrastran los nutrientes y minerales a través de las diferentes capas del suelo.

Manantial. Corriente de agua que mana del suelo o de entre las rocas de forma natural.

Riego deficitario. Es una estrategia de optimización en la que el riego se aplica solo en las fases sensibles del cultivo en déficit hídrico. Se trata de maximizar la productividad del agua de cultivo en lugar de maximizar la cosecha por unidad de superficie.

5.1. Introducción

La evolución del regadío en España ha supuesto una gran transformación de la agricultura, llegando en la actualidad al 22 % de la superficie agrícola. Una gran parte de los cultivos del territorio español tiene unas necesidades hídricas que no son cubiertas por las precipitaciones, y por ello se hace necesaria la implantación de sistemas de regadío para obtener una producción que garantice su viabilidad económica. Pero el riego puede tener una serie de consecuencias a largo plazo sobre el suelo: erosión, salinización, efecto físico del peso del agua (compactación), formación de horizontes impermeables, entre otras. El estudio de las técnicas de riego y análisis de aguas es un factor imprescindible en la práctica agronómica de hoy en día, sobre todo en zonas áridas, donde hay que enfrentar problemas de contaminación y desertificación en un contexto de cambio climático.

Recurso electrónico 5.1

En el anexo web 5.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre el aumento de la superficie de regadío en España en los últimos años, acompañado del descenso en el uso de recursos hídricos.

5.2. Procedencia del agua de riego

La conveniencia del uso de un agua para riego viene determinada en gran medida por su procedencia. El origen del agua condiciona las obras necesarias para su aprovechamiento: pozos, canalizaciones, instalaciones de bombeo y filtrado y otras infraestructuras. Por otra parte, las características físicas y químicas del agua condicionan su uso y los posibles tratamientos a que pueden ser sometidas en caso necesario.

5.2.1. Aguas superficiales y subterráneas

La parte del agua caída en forma de lluvia, nieve o granizo que discurre por la superficie formando ríos o arroyos es lo que se denomina *escorrentía superficial*. La parte de esa agua que se infiltra en el terreno y fluye por gravedad hacia ríos, manantiales o mares es denominada *escorrentía subterránea*. Las aguas superficiales y subterráneas están relacionadas, por tanto, es frecuente que el agua subterránea salga a la superficie en fuentes y manantiales siguiendo su recorrido por la superficie. El agua superficial se infiltra y pasa a formar parte del agua subterránea. Los ríos superficiales, en ocasiones, son el desagüe natural de las corrientes subterráneas, por ello pueden seguir llevando agua incluso después de largos periodos de tiempo sin llover.

Las *aguas subálveas* son las que circulan a través de los poros de un cauce asentado sobre un terreno permeable no consolidado, discurriendo a la par del río superficial. En torno al río superficial fluye otro río a menor velocidad que el anterior. En caso de que el nivel del agua esté situado por debajo de la superficie del cauce, el agua es subterránea.

Una formación geológica que contiene agua subterránea a mayor o menor profundidad es un *acuífero*. Los acuíferos son capas extensas de agua que se acumulan bajo terrenos de diferente naturaleza.

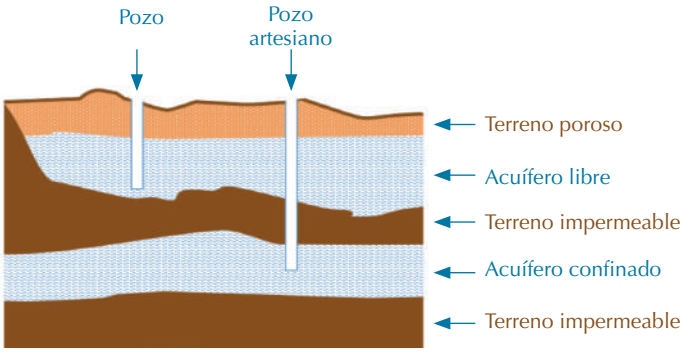


Figura 5.1
Acuífero libre y acuífero confinado.

Los acuíferos pueden ser *libres o freáticos*, en los que el agua está a la presión atmosférica, o *confinados o a presión*, que se sitúan entre dos franjas de materiales impermeables y en los que el agua está a mayor presión que la atmosférica.

En un *pozo convencional*, que es una excavación hasta un acuífero libre, el agua necesita ser bombeada para llegar a la superficie. En un *pozo artesiano* el agua sale a presión, no necesita ser bombeada, debido a que conecta con un acuífero confinado cuyo nivel freático se encuentra por encima de la superficie del pozo artesiano.

Las *fuentes* o *manantiales* son originados por las aguas subterráneas. Surgen cuando la superficie del terreno corta el nivel freático o se sitúa por debajo.

Figura 5.2
Manantiales originados por las aguas subterráneas.

Una *prospección de aguas subterráneas* consiste en el estudio y exploración de una zona para tratar de obtener información sobre la existencia de acuíferos. Esta información debe dar datos sobre el punto más conveniente para realizar la captación, la profundidad a que se encuentra el agua, y la cantidad y calidad del agua disponible. Las prospecciones utilizan métodos de diferente naturaleza:

a) *Hidrogeológicos*: estudio de las cuencas y los datos cartográficos de la zona.
b) *Experimentales*: estudio de señales externas como plantas hidrófilas (juncos, sauces, álamos o chopos) o insectos voladores.
c) *Geofísicos*: estudio de señales acústicas, eléctricas...
d) *Rábdicos:* zahoríes utilizando péndulos o varitas.

SABÍAS QUE...?

En los *acuíferos costeros,* el agua salada, que tiene mayor densidad que la dulce, se introduce a modo de cuña, por debajo de esta. En condiciones naturales se establece un equilibrio entre el agua marina, que permanece estacionaria, y el agua dulce, alimentada por corrientes subterráneas, que fluye hacia el mar. Si se produce una extracción intensiva de agua dulce, el flujo hacia el mar disminuye, provocando que el agua salada avance hacia tierra, introduciéndose en el acuífero. Si la captación de agua continúa, disminuye el nivel freático y asciende el nivel de agua de mar, llegándose a extraer agua salobre en los pozos. En casos extremos cesa el flujo de agua dulce hacia el mar y el agua salada ocupa todo el acuífero.

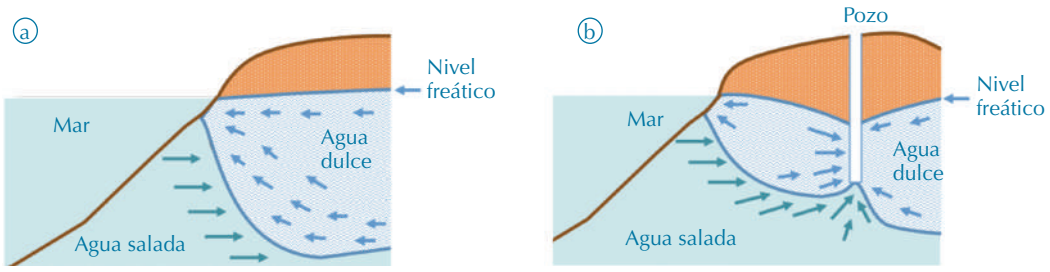


Figura 5.3
Contaminación por intrusión del agua del mar. *a)* Condiciones naturales: el agua dulce fluye hacia el mar. *b)* Intrusión marina: la extracción excesiva de agua provoca una intrusión del agua salada en la zona de agua dulce.

5.2.2. Características de las aguas superficiales

Algunas de las características generales más significativas de las aguas superficiales son:

a) Contienen un alto contenido en oxígeno, al estar en contacto con la atmósfera.
b) Llevan sustancias orgánicas en solución y suspensión.
c) Si proceden de embalse, suelen tener una importante concentración de sales por las corrientes que entran en el embalse y por la evaporación del agua.
d) Mantienen una temperatura similar a la del ambiente.

Por otro lado, pueden encontrarse aguas de mala calidad contaminadas por algún tipo de vertido, con un elevado riesgo de contaminación química o biológica debido a la actividad industrial, agrícola, etc., o de pequeños núcleos urbanizados y construcciones aisladas donde las aguas se vierten sin depurar.

Según la época del año, la calidad de las aguas superficiales puede variar. Por ejemplo, en verano al disponer de menor caudal, las sales suelen estar más concentradas. En esta época las aguas superficiales suelen escasear, y es cuando hay mayores demandas de riego, por lo que suelen almacenarse en embalses y pantanos. Para evitar la presencia de sustancias en suspensión deben utilizarse procedimientos para su filtración y limpieza.

Actividad propuesta 5.1

A través del código QR adjunto, consulta la página del MAPAMA sobre aguas superficiales en relación a lo que indica la Directiva del Marco de Agua (Directiva 2000/60/CE) y contesta las siguientes preguntas:

a) ¿Cómo se definen las aguas superficiales y qué tipos se establecen según esta directiva?
b) ¿De qué dos tipos de factores depende la calidad de las aguas?
c) ¿Cuántas clases de estado ecológico de las aguas superficiales hay, y de qué dependen?

5.2.3. Características de las aguas subterráneas

Como características más destacadas de las aguas subterráneas pueden señalarse las siguientes:

a) Temperatura uniforme durante todo el año, generalmente frías en verano.
b) Pobres en oxígeno y resto de gases disueltos.
c) Pobres en sustancias minerales y orgánicas en solución y suspensión.
d) Presentan bajo riesgo de contaminación y eutrofización por vertidos industriales o lixiviación de los suelos agrícolas. La contaminación a que se ve sometida es por vertidos que se filtran por el suelo (abonos solubles, herbicidas, etc.).
e) Las aguas de las zonas litorales suelen ser más ricas en sales, sobre todo en zonas con riesgo de intrusión marina.

5.2.4. Aguas residuales y aguas de depuradora

Agua residual es el término genérico utilizado para designar el residuo líquido recogido mediante la red de alcantarillado para enviarla a una planta de tratamiento de agua residual municipal.

Los componentes que configuran el agua residual que genera una comunidad dependen del tipo de sistema de recogida que se utiliza y pueden incluir:

a) *Agua residual doméstica (o sanitaria)*: es el agua proveniente de fuentes de abastecimiento, utilizada para usos diversos como el agua de residencias, instalaciones comerciales, públicas y similares.
b) *Agua residual industrial*: es el agua en la cual predominan residuos industriales.
c) *Infiltraciones y conexiones incontroladas*: son aguas de escorrentía, que acceden a la red de alcantarillado a través de los pozos de registro y de otros dispositivos, así como del agua subterránea que se infiltra a la red de alcantarillado a través de las uniones incorrectamente realizadas o deterioradas y de grietas en las conducciones.

Normalmente, las aguas de lluvia y de escorrentía superficiales se recogen separadamente mediante una red de drenaje que las conduce al río más próximo para verterlas sin tratamiento, pero aún existen sistemas de alcantarillado donde se recogen conjuntamente todos los tipos de aguas mencionados.

La calidad de un agua residual se determina normalmente con parámetros globales de contaminación, pero estos no son los parámetros de calidad que toman mayor importancia cuando se trata de utilizar el agua residual como agua de riego, sino que hay que atender a aquellos elementos químicos que afectan al crecimiento de las plantas o a las propiedades del suelo. En este contexto, el principal parámetro de calidad es el *total de sólidos disueltos* (TDS por sus siglas en inglés).

Además, un agua residual urbana puede contener microorganismos patógenos de origen fecal, tal como bacterias, virus, protozoos y gusanos parásitos. Dado el número relativamente alto de microorganismos patógenos presentes en el agua residual, y de la dificultad práctica para determinarlos, la presencia de bacterias coliformes en el agua se considera por sí misma como indicadora de la presencia de microorganismos patógenos.

Para reutilizar las aguas residuales se precisa de una serie de procesos desarrollados en las estaciones depuradoras (sedimentación, precipitación química, lechos de secado, etc.), que pueden reducir el porcentaje de sólidos en suspensión y partículas coliformes hasta el valor admisible para cada uso. Si se usa agua de depuradora para regar, hay que conseguir un análisis o informes sobre sus características (sales, elementos tóxicos, sustancias contaminantes, metales pesados, etc.).

RECUERDA

✓ Los criterios de calidad para el uso del agua procedente de depuradora para el riego agrícola vienen determinados en el RD 1620/2007, por el que se regula el régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas. En él se clasifican las aguas residuales según su calidad en relación a su uso agrícola, teniéndose en cuenta si el agua va a estar o no en contacto con las partes comestibles del cultivo. Para que un agua sea apta para uso agrícola se establecen valores máximos para los siguientes parámetros: nematodos intestinales, *Escherichia coli, Legionella* spp, *Taenia saginata, Taenia solium,* sólidos en suspensión, turbidez, nitratos, nitrógeno, fósforo y sustancias peligrosas como metales pesados y orgánicos.

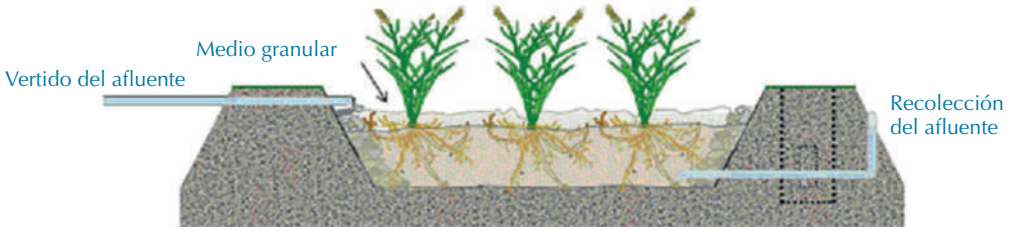


Figura 5.4
Humedal artificial con plantas acuáticas para depuración natural de aguas residuales.

SABÍAS QUE...?

En el cuaderno de Normas Técnicas del CAE-CV (Organismo certificador de la producción ecológica en la Comunidad Valenciana), se indica que en la producción ecológica está prohibido el uso en regadío de agua residual o alterada por otra causa de contaminación (productos químicos o metales pesados). La instalación de riego debe estar separada de toda red en la que haya mezcla de agua residual o de agua depurada de origen urbano o industrial que no haya pasado por un sistema de depuración terciario.

El CAE-CV puede, sin embargo, autorizar el regadío con agua depurada para cultivos en los que el agua de riego no entre en contacto con la parte comestible, en los siguientes casos:

a) Agua residual procedente de uso residencial exclusivamente, tratada con un sistema de depuración por lagunaje, plantas acuáticas o filtración.
b) Agua de origen urbano o industrial procedente de un sistema de depuración terciario, siempre que mediante analítica, se demuestre la ausencia de contaminantes (microorganismos patógenos, metales pesados, fosfatos, nitratos, etc.).

Actividad propuesta 5.2

Lee el documento, cuyo PDF puedes descargar a través del código QR adjunto, en el que se explica el funcionamiento de los sistemas de depuración a través de filtros verdes, humedales y macrófitas. Después, indica en qué consiste cada uno de estos sistemas y sus ventajas e inconvenientes.

5.3. Parámetros de calidad del agua de riego

El conocimiento de la calidad del agua de riego es fundamental para la elección del método de riego, su manejo y el cultivo que se vaya a implantar. La calidad del agua viene determinada, en parte, por la naturaleza y concentraciones de las sales que se encuentran en ella. A corto plazo, la calidad del agua de riego puede influir en la producción y calidad del cultivo, mientras que a largo plazo el riego con ciertas aguas puede perjudicar el suelo hasta hacerlo inservible.

5.3.1. Características físicas

Las materias o sustancias que el agua lleva en suspensión pueden producir problemas en las instalaciones de riego, sobre todo en sistemas de riego a goteo o aspersión, con lo que en ocasiones es imprescindible su filtrado previo. Estas sustancias pueden ser:

a) *Tierra:* arena, limo y arcilla.
b) *Materia orgánica:* restos de plantas y animales, insectos, algas, bacterias, etc.
c) *Otros:* detergentes, grasas, aceites minerales, etc., presentes, sobre todo, en aguas residuales.

CUADRO 5.1
Riesgo de obturaciones por elementos disueltos en el agua de riego

	Riesgo de obstrucciones		
Elemento	**Ninguno**	**Moderado**	**Grave**
Sólidos en suspensión (mg/l)	< 50	50-100	> 100
Sólidos solubles (mg/l)	< 500	500-2000	> 2000
Manganeso (mg/l)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Hierro (mg/l)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Ácido sulfhídrico (mg/l)	< 0,5	0,5-2	> 2
pH	< 7	7-8	> 8

5.3.2. Características químicas

A través de algunos parámetros químicos puede determinarse la aptitud del agua para riego, el manejo del sistema de riego utilizado, así como la posibilidad de cambiar las características del agua mediante algún tipo de tratamiento.

A) Salinidad

El concepto de *salinidad* hace referencia a la concentración de todas las sales presentes en el agua. El uso de aguas de riego salinas supone el riesgo de salinización del suelo, lo que puede llegar a mermar la producción del cultivo por diversas razones.

Por una parte, la capacidad de la planta para absorber el agua disminuye a medida que aumenta el contenido de sales, ya que *aumenta la presión osmótica de la solución del suelo*, teniendo la planta que realizar un mayor esfuerzo para absorberla. Este efecto acumulativo trae como consecuencia que la disponibilidad de agua para el cultivo disminuya a medida que aumenta la salinidad de la solución del suelo.

Por otra parte, la presencia de sales puede ocasionar problemas de *toxicidad* (algunas sales, cuando se acumulan en cantidad suficiente, resultan tóxicas para los cultivos u ocasionan desequilibrios en la absorción de los nutrientes); de *infiltración* del agua en el suelo (un alto contenido de sodio y bajo de calcio en el suelo hace que sus partículas tiendan a disgregarse, lo que ocasiona una disminución de la velocidad de infiltración del agua), y de *obstrucciones* en los sistemas de riego localizado (por precipitación de las sales).

El agua de riego contiene determinadas sales que se añaden a las ya existentes en el suelo. Las sales que deben tenerse en cuenta son aquellas que, además de ser solubles, se descomponen en iones:

CUADRO 5.2
Principales iones disueltos en el agua de riego

Cationes	Aniones
Calcio (Ca^{2+})	Cloruro (Cl^-)
Sodio (Na^+)	Sulfato (SO_4^{2-})
Magnesio (Mg^{2+})	Bicarbonato (CO_3H^-)
Potasio (K^+)	Carbonato (CO_3^{2-})

La salinidad del agua de riego puede determinarse mediante dos procedimientos:

a) *Medida del contenido de sales:* se realiza en laboratorio, evaporando en una estufa una muestra de agua y pesando el residuo sólido. Se suele expresar en miligramos por litro (mg/l) o en miliequivalentes por litro (meq/l).

b) *Medida de la conductividad eléctrica:* se expresa en milimhos por centímetro (mmho/cm) o en deciSiemens por metro (dS/m), que son unidades equivalentes. A medida que aumenta el contenido salino, mejor pasa la corriente. La conductividad varía con la temperatura. Las tablas de referencia están calculadas para una temperatura de 25 °C (CE_{25}).

El contenido de sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica están relacionados mediante la fórmula:

$$SDT = 0{,}64 \times CE$$

Donde: SDT = Sales totales (g/l).
CE = Conductividad eléctrica (dS/m).

Hoy en día existen numerosos instrumentos (*conductivímetros*) que facilitan rápidamente la medida de la salinidad.

Existen varios criterios que establecen si el agua puede usarse para el riego según la cantidad de sales disueltas en ella. La FAO indica el riesgo de producirse problemas de salinidad según los límites en contenido de sales que se recogen en el cuadro 5.3.

CUADRO 5.3
Calidad del agua de riego según su salinidad

Clase de agua	CE_{25} (dS/m)	SDT (g/litro)
1. Excelente	< 0,25	< 0,16
2. Buena	0,25 a 0,75	0,16 a 0,48
3. Mediana	0,75 a 2	0,48 a 1,28
4. Mala	2 a 3	1,28 a 1,92
5. No indicada	> 3	> 1,92

En terrenos arcillosos se considera que a partir de 1,5 dS/m ya hay riesgo de salinización. En terrenos arenosos, de fácil drenaje y con posibilidad de efectuar lavados, se considera que puede haber riesgo a partir de los 2,0 dS/m.

En general, si el contenido de sales es mayor de 3 dS/m, los problemas de salinidad pueden ser muy graves a menos que se establezcan una serie de tratamientos como el lavado de sales o cambio de cultivo por otro u otros que resistan mejor las condiciones de salinidad.

CUADRO 5.4
Clasificación de diferentes cultivos según su resistencia a la salinidad en el agua de riego

Especies muy sensibles	Especies sensibles	Especies moderadamente tolerantes	Especies tolerantes
CE < 1 dS/m	*CE de 1 a 2 dS/m*	*CE de 2 a 3 dS/m*	*CE > 3 dS/m*
Judía	Cebolla	Brócoli	Olivo
Zanahoria	Coliflor	Sorgo	Calabacín
Sandía	Guisante	Veza	Granado
Berenjena	Alfalfa	Arroz	Higuera
Fresa	Apio	Trigo duro	Palmera
Nogal	Avena		Alcachofa
	Calabaza		Espárrago
	Espinaca		Trigo
	Girasol		Sorgo
	Habas		Algodón
	Lechuga		Cebada
	Maíz		Remolacha
	Melón		
	Patata		
	Pepino		
	Pimiento		
	Rábano		
	Tomate		
	Frutales de hueso		
	Frutales de pepita		
	Cítricos		
	Viña		
	Aguacate		

B) Sodicidad

En ocasiones, la velocidad de infiltración es muy baja y puede ocurrir que el agua infiltrada no baste para cubrir las necesidades del cultivo. Los problemas más frecuentes relacionados con una infiltración baja suelen producirse cuando el sodio se incorpora al suelo y deteriora su estructura. El efecto contrario lo producen el calcio y el magnesio. El índice RAS (relación de absorción de sodio) indica la proporción en que se encuentran los cationes de Na con respecto a los de Ca y Mg. Este índice viene definido por la siguiente fórmula (RAS ajustado):

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} representan, respectivamente, las concentraciones de los iones de sodio, calcio y magnesio del agua de riego, expresadas en meq/l.

A partir de los datos de CE y RAS, se establece una clasificación del agua (figura 5.5).

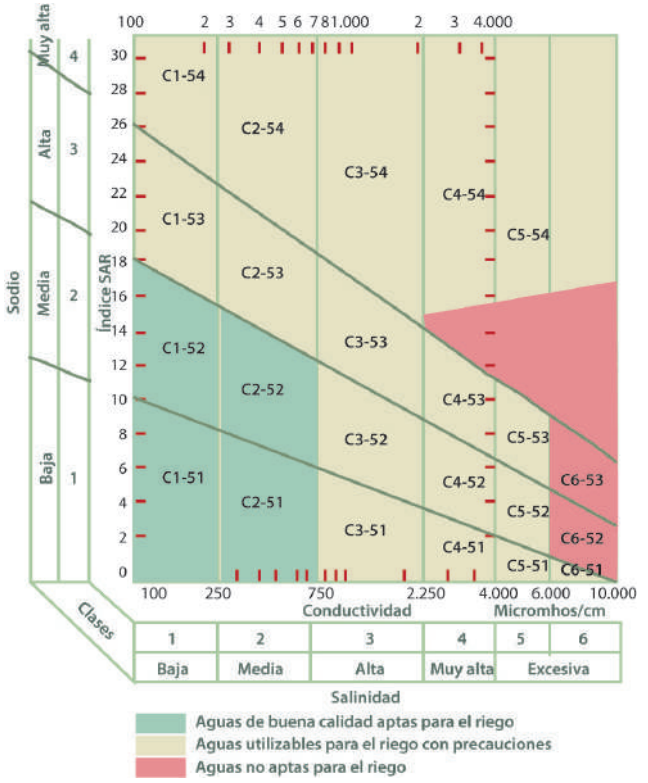


Figura 5.5
Clasificación de las aguas según las normas Riverside.

Cada una de las clases establecidas se corresponde con una calidad y unas recomendaciones para el uso de cada agua de riego.

CUADRO 5.5
Calidad del agua de riego y recomendaciones de uso en función de su CE y RAS, según las normas de Riverside

Tipos	Calidad y recomendaciones de uso
C1	Agua de baja salinidad. Su uso para el riego no supone riesgo.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario aplicar agua de lavado y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad elevada, que puede utilizarse para el riego solo en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavado de sales y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy elevada. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavado de sales y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

[.../...]

CUADRO 5.5 (CONT.)

Tipos	Calidad y recomendaciones de uso
C5	Agua de salinidad excesiva, que solo debe, en contados casos, utilizarse extremando todas las medidas anteriores.
C6	Agua de salinidad extrema, no apta para riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, recomendada para el riego en la mayoría de los casos.
S2	Agua con contenido medio de sodio, con cierto riesgo especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio del suelo, corrigiéndose en caso necesario.
S3	Agua con elevado contenido de sodio y gran riesgo de sodificación del suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere de un buen drenaje y del empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy elevado de sodio. No es aconsejable para el riego, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

En resumen, los tratamientos para solucionar los problemas de salinidad causados a largo plazo por el agua de riego son el cambio de cultivo por otro más tolerante a la salinidad, el lavado, el drenaje del agua de lavado sobrante y que impida el ascenso de sales por capilaridad desde capas freáticas situadas a poca profundidad. Los tratamientos por problemas de infiltración de suelos salinos o sódicos se desarrollan en el capítulo 6.

Ejercicio resuelto 5.1

Un agua tiene una concentración de iones sodio, calcio y magnesio de 18,75; 9,55 y 9,78 meq/l, respectivamente, así como una CE_{25} de 3,66 dS/m. Indica su clasificación y las recomendaciones de uso como agua de riego según las normas de Riverside.

- CE = 3,66 dS/m = 3660 µmhos/cm.
- SAR ajustado: $SAR = 18,75 \Big/ \sqrt{(9,55 + 9,78)/2} = 6,03$

Es un agua de tipo C4S2, con lo que habrá que tener en cuenta las indicaciones del cuadro 5.5. Se trata de un agua muy salina, pero no demasiado sódica, con lo que se podrá utilizar en el caso de suelos ligeros y con cultivos muy tolerantes a la salinidad, aplicando lavados continuos y drenaje, y vigilando las características y nivel de sodio en el suelo.

Actividad propuesta 5.3

Indica las recomendaciones para el uso para el riego de un agua cuyo análisis aporta los siguientes resultados: CE = 1,45 mS/cm; $[Na^+]$ = 8,37; $[Ca^{2+}]$ = 1,81; $[Mg^{2+}]$ = 2,71.

C) Carbonato sódico residual o CSR

Al combinarse los iones carbonato (CO_3^{2-}) y bicarbonato (HCO_3^-) con el Ca y el Mg, precipitan en forma de carbonato cálcico ($CaCO_3$) o carbonato magnésico ($MgCO_3$), sobre todo cuando el suelo está seco. Se produce entonces una disminución de la presencia de iones Ca y Mg con respecto al Na y, por tanto, aumenta el RAS y se produce, asimismo, un aumento del pH.

Un alto contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- aumenta el índice de RAS más de 3-4 meq/l (más de 180-240 mg/l).

El CSR (o RSC, del inglés *residual sodium carbonate*) se calcula con la fórmula:

$$RSC = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{+2})$$

CUADRO 5.6
Riesgo por presencia de bicarbonato (HCO_3^-) y CSR en aguas de regadío (meq/l)

	Ninguno	Ligero a moderado	Severo (agua no apropiada para riego)
HCO_3^- (meq/l)	< 1,5	1,5-7,5	> 7,5
CSR	< 1,25	1,25-2,5	> 2,5

Fuente: Ayers, R. S. y Westcot., A. W., 1985.

D) Dureza

La dureza del agua se refiere al contenido de calcio y magnesio en el agua, y se expresa en "grados franceses" (°F). El agua se clasifica según su dureza tal y como se aprecia en el cuadro 5.7.

CUADRO 5.7
Clasificación de la dureza del agua

Dureza (°F)	Tipo de agua
< 7	Muy blanda
7–14	Blanda
14–22	Medianamente blanda
22–32	Medianamente dura
32–54	Dura
> 54	Muy dura

(*) Concentración de Ca y Mg en ppm (mg/l).
$(Ca^{2+} \cdot 2{,}5 + Mg^{+2} \cdot 4{,}1) / 10$ (*)
Fuente: Ayers, R. S. y Westcot, A. W., 1985.

En los riegos tradicionales la dureza del agua no representa ningún inconveniente, incluso puede ser beneficiosa por indicar la presencia de elementos fertilizantes y combatir el efecto de la salinidad. En el riego a presión (goteo o aspersión), no es conveniente utilizar aguas de más de 50 °F, para evitar obturaciones en tuberías y emisores. En este tipo de riego, si se utilizan aguas duras, deben hacerse limpiezas de mantenimiento de las instalaciones con soluciones ácidas, así como seleccionar abonos ácidos que prevengan precipitaciones.

E) pH

Un valor de pH del agua por encima de 8 ya no se considera apropiado para el riego, pues es un indicio de la presencia excesiva de carbonatos y bicarbonatos que pueden llegar a ser tóxicos o provocar precipitaciones.

El pH del agua se puede medir directamente con un pH-metro o con papel indicador de pH, de manera más fácil aunque menos exacta.

F) Nitratos

El uso excesivo de abonos nitrogenados en la agricultura y su posterior arrastre por las aguas de lluvia o riego es una de las principales causas de la contaminación de los acuíferos subterráneos por nitratos, que constituye hoy en día uno de los mayores problemas de contaminación de estas aguas. Los nitratos (NO^{3-}) no tienen color ni sabor y no son tóxicos por sí mismos, pero una vez ingeridos pueden convertirse en nitritos y nitrosaminas, que provocan diferentes efectos nocivos en la salud humana. El nivel máximo permitido de nitratos en aguas potables en la Unión Europea es de 50 mg/l (0,8 meq/l), existiendo un número importante de acuíferos que superan este valor.

Dado que el aporte de nitratos al suelo debido al agua de riego es muy elevado, en la planificación del abonado nitrogenado hay que tener en cuenta la cantidad de nitrógeno que se aporta por esta vía, tal como se ha explicado en el capítulo anterior.

G) Otros efectos

En determinados casos, deben considerarse los nutrientes contenidos en el agua de riego, para restringir la fertilización o porque se produzcan excesos contraproducentes como el caso del sodio, cloro y el boro, ya que se pueden acumular en concentraciones lo suficientemente altas como para reducir el rendimiento de la cosecha. En el caso de la concentración de boro el máximo tolerado es, en general, de 2,5 mg/l y de 0,5 mg/l para cultivos muy sensibles, como los cítricos.

En el cuadro 5.8 se recogen los *valores normales* de un análisis de aguas de riego, con los que, en principio, no cabría esperar problemas de fitotoxicidad, salvo en cultivos sensibles a cada parámetro y en dependencia del tipo de suelo y sistema de riego utilizado.

Cuadro 5.8
Intervalos normales para agua de riego

Parámetro de calidad del agua	Intervalo normal en el agua de riego	
Conductividad eléctrica	0-3 dS/m	
RAS	0-15	
pH	6-8	
Sólidos en disolución		0-2000 mg/l
Calcio	0-20 meq/l	0-400 mg/l
Magnesio	0- 5 meq/l	0-60 mg/l

[.../...]

CUADRO 5.8 (CONT.)

Parámetro de calidad del agua	Intervalo normal en el agua de riego	
Sodio	0-40 meq/l	0-920 mg/l
Carbonatos	0-0,1 meq/l	0-3 mg/l
Bicarbonatos	0-10 meq/l	0-600 mg/l
Cloruro	0-30 meq/l	0-1100 mg/l
Nitratos	0-0,16 meq/l	0-10 mg/l
Sulfatos	0-20 meq/l	0-960 mg/l
Potasio		0-2 mg/l
Boro		0-2 mg/l
Hierro		0-0,5 mg/l
Dureza	0-40 °F	

Fuente: adaptado de FAO, 1985.

5.3.3. Toma de muestras de agua para su análisis

Para realizar un análisis de agua fiable, este debe realizarse sobre una muestra que sea representativa, lo que se consigue siguiendo una serie de normas. El proceso de toma de muestras de agua debe seguir las siguientes pautas:

1. Debe utilizarse un recipiente limpio de vidrio o plástico con una capacidad de 1 a 1,5 litros. Deben hacerse varios enjuagues con el agua que se va a analizar antes de tomar la muestra.
2. Si se trata de agua de un pozo con bomba de extracción, se debe dejar correr el agua unos minutos antes de coger la muestra.
3. En caso de agua de un río o embalse, se deben coger submuestras en varios puntos diferentes y representativos y unificarlas en una sola muestra. Si se tomara una sola muestra, debe hacerse del centro de la corriente, nunca en zonas estancadas, sino donde el agua está en movimiento. Se debe tomar la muestra a una profundidad intermedia entre el fondo y la superficie.

Una vez obtenida la muestra:

1. Cerrar el envase y etiquetarlo, para su identificación.
2. Cuanto menos tiempo pase entre la toma de la muestra y su traslado a laboratorio los resultados serán mejores y más fiables, siendo recomendable que no se superen las 24 horas. Debe mantenerse en nevera a una temperatura de unos 5 °C hasta su traslado a laboratorio.
3. Junto a la muestra debe acompañarse un informe indicando dónde ha sido tomada, para qué tipo de cultivo va a ser utilizada, características del suelo y cualquier otra información que pueda ser importante para determinar la calidad del agua.
4. En cualquier caso, es conveniente ponerse en contacto con el laboratorio antes de hacer la toma, para informarse de los tiempos y forma de hacerla.

Ejercicio resuelto 5.2

Interpreta los resultados del siguiente análisis de agua, dando las indicaciones básicas de manejo aconsejables para su uso para riego.

Propiedades químicas y físicas	pH	7,65	
	CE	1148	µS /cm a 25 °C
	Dureza total	41,8	°F
	Residuo calculado	0,67	g/l
	Presión osmótica	0,41	atm
Composición química	Cationes:	meq/l	mg/l
	Calcio	5,37	107,6
	Magnesio	2,98	36,2
	Sodio	2,04	47,0
	Potasio	0,06	2,49
	Aniones:		
	Bicarbonatos	2,48	151,2
	Cloruros	1,58	56,0
	Nitratos	1,73	107,3
	Sulfatos	3,48	167,2
	Oligoelementos:		
	Boro	0,07	
	Hierro	< 0,05	
	Manganeso	< 0,05	
	Cobre	< 0,05	
	Zinc	< 0,05	

Factor considerado	Interpretación
pH	Agua de reacción básica
CE	Riesgo de salinidad ligero a moderado (C3).
Dureza total	Agua dura.
Residuo calculado	Sin riesgo de obstrucciones.
SAR	$2,04/\sqrt{(5,37+2,98)/2}=1$. Sin riesgo de sodicidad (S1)
Cationes, aniones y oligoelementos	Valores normales o por debajo de valores críticos, salvo en el caso de los nitratos, que presenta un valor muy elevado.

a) En cuanto a la posibilidad de obturaciones, es un agua dura. Por tanto, es un agua con elevado riesgo de producir precipitaciones calizas en el sistema de riego. La presencia de bicarbonatos junto a un pH elevado hace que también pueda haber precipitaciones en forma de $CaCO_3$. Se recomienda, por ello, utilizar fertilizantes ácidos o acidificar el agua de riego hasta pH 5,5-6,5.

b) Los contenidos de Fe y Mn son bajos, por tanto, aunque el pH es alto no se esperan precipitados de estos dos metales.

c) Según las normas de Riverside, se trata de un agua clasificada como de calidad C3S1. Es un agua con salinidad moderada pero baja en sodio, que es apta para el riego, siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Utilizar en suelos sin problemas de permeabilidad.
- Utilizar volúmenes de agua adicionales para efectuar un lavado de sales.
- Favorecer el drenaje de las aguas de lluvia y de las aguas de lavado.
- Utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.

d) Los posibles elementos tóxicos (B, Cl, Na) están muy por debajo de los niveles a partir de los cuales podrían producirse fenómenos de toxicidad.

e) Aporte de nitratos: el nivel de nitratos es muy elevado, luego hay que tener en cuenta el aporte de N debido al riego en la planificación del abonado.

Actividad propuesta 5.4

Interpreta los resultados de un análisis de agua para riego de un suelo de textura franco arenosa que ofrece los siguientes valores. Indica las recomendaciones básicas para su uso y concreta para qué cultivos podría utilizarse.

Propiedades químicas y físicas	pH	7,37	
	CE_{25}	5,97	dS/m
	Dureza total	107,1	°F
	Sólidos en suspensión	< 2	mg/l
	Presión osmótica	2,15	atm
	Punto de congelación	–0,18	°
Composición química	Cationes:	meq/l	mg/l
	Calcio	5,37	107,6
	Magnesio	2,98	36,2
	Sodio	2,04	47,0
	Potasio	0,06	2,49
	Aniones:		
	Bicarbonatos	5,52	336,5
	Cloruros	34,3	1217,7
	Nitratos	3,54	219,5
	Sulfatos	18,06	866,8
	Oligoelementos:		
	Boro	2,25	
	Hierro	< 0,05	
	Manganeso	< 0,05	
	Cobre	< 0,05	
	Zinc	< 0,05	

5.4. Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos

La producción vegetal depende de que el cultivo se mantenga en un estado hídrico óptimo, para lo cual es fundamental cuantificar sus necesidades hídricas. Para que estas se cubran de forma conveniente, es necesario mantener en valores positivos el balance de agua en el sistema que forman el suelo y las plantas. En este equilibrio intervienen gran cantidad de factores que, finalmente, determinan la intensidad de la transpiración y la disponibilidad de agua por parte de las raíces.

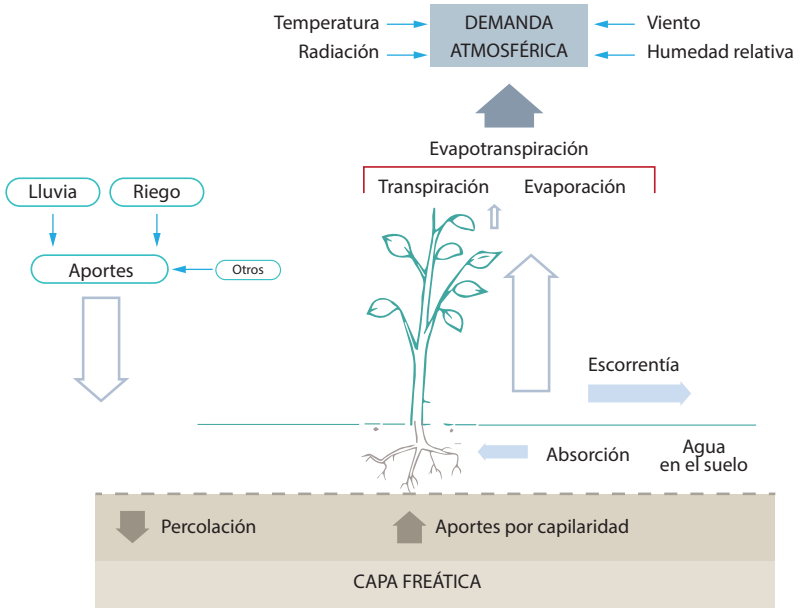


Figura 5.6
Factores que intervienen en el balance de agua del sistema suelo-planta.

5.4.1. Concepto de *evapotranspiración*

La *evapotranspiración (ET)* se define como la pérdida de agua en forma de vapor desde un suelo con cubierta vegetal durante un intervalo de tiempo determinado. La ET tiene dos componentes: la *evaporación*, que se produce desde el suelo, y la *transpiración,* que se produce desde las superficies del vegetal. Se mide en milímetros de altura de agua (equivalente a l/m^2).

$$ET = \text{evaporación} + \text{transpiración}$$

Ambos componentes de la ET tienen una importancia relativa diferente según las características del cultivo. En las primeras etapas del cultivo, casi el 100 % de la ET se da en forma de evaporación, y cuando la cobertura del suelo es casi completa, más del 90 % de la ET tiene lugar como transpiración.

La transpiración se produce principalmente a través de los estomas, en función de la apertura de los mismos. Las propias características de la especie y las condiciones ambientales del lugar donde se implante el cultivo son factores directamente implicados en la intensidad de la transpiración.

Puede diferenciarse entre:

a) *Evapotranspiración potencial o máxima:* cantidad de agua perdida en un determinado periodo de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua.
b) *Evapotranspiración real:* cantidad de agua realmente perdida por un determinado cultivo y suelo durante el periodo de tiempo considerado.

El rendimiento de un cultivo es máximo cuando la transpiración es máxima, el cultivo tiene todas sus necesidades hídricas cubiertas y se está desarrollando con su máximo potencial. Cuando esto sucede, la evapotranspiración real y la máxima coinciden.

Una gran parte del agua absorbida por la planta se consume en la transpiración, ya que solo una mínima parte (del 0,1 al 1 %) se incorpora a sus tejidos. Por tanto, desde un punto de vista práctico, se considera que las necesidades hídricas del cultivo son iguales a sus necesidades de evapotranspiración.

RECURSO ELECTRÓNICO 5.2

En el anexo web 5.2, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre la influencia de los diferentes factores edafoclimáticos y de cultivo en la evapotranspiración.

5.4.2. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ETc)

Para el cálculo de la evapotranspiración de un cultivo en una zona determinada (ETc) debe valorarse previamente la evapotranspiración que tendría un cultivo de referencia (ETo) en ese mismo lugar mediante métodos directos o empíricos.

a) *ETo (ET de referencia):* es la tasa de evapotranspiración de un cultivo extenso y uniforme de gramíneas, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea totalmente el suelo y no está escaso de agua.
b) *ETc (ET de cultivo):* es la evapotranspiración de un cultivo determinado en un suelo fértil, sin enfermedades y con suficiente cantidad de agua para dar una plena producción.

Una vez calculado el valor de la ETo, se obtiene la ET del cultivo (ETc) mediante un coeficiente obtenido experimentalmente, según la fórmula:

$$ETc = ETo \times Kc$$

La evapotranspiración de referencia (ETo) se puede estimar con métodos directos o a través cálculos que tienen en cuenta una serie de variables climáticas.

A) Métodos de medida directa

Para realizar la estimación directa de la ETo se utiliza este tipo de métodos, que suelen estar asociados a trabajos de investigación o a estaciones meteorológicas en las que se recogen series de datos, que posteriormente son utilizados por los técnicos en riego o los propios agricultores, para el cálculo de las necesidades hídricas.

1. *Lisímetro:* consiste en un recipiente de gran tamaño lleno de tierra donde se siembra la planta objeto de estudio y se cultiva de la forma más parecida posible a la manera en que se efectúa en el campo. Se coloca a la intemperie, sobre una superficie en la que pueda recogerse el agua que escurra. Periódicamente se pesa el recipiente, lo que permite conocer el agua perdida por evapotranspiración durante el periodo que se considere. Este método es costoso y difícil, por lo que solo se utiliza en trabajos de investigación.
2. *Tanque de evaporación:* a partir de las medidas de la evaporación que se produce en la lámina libre de agua, corregidas por un coeficiente que depende de las características y posición de la propia cubeta, se determina la llamada *evapotranspiración de referencia* (*ET*o). Para dicho cálculo se tiene en cuenta el efecto de la radiación, la temperatura del aire, la humedad y el viento. La FAO recomienda realizar estimaciones directas de la ETo con tanques de evaporación de clase A.

Figura 5.7
Tanque de evaporación de clase A.
Fuente: Ramírez, L. *et al.*, 2017.

B) Métodos empíricos

Estos métodos se basan en el empleo de las series de datos climáticos obtenidos en las estaciones meteorológicas de las diferentes zonas geográficas.

Cuadro 5.9
Métodos empíricos más utilizados para el cálculo de la evapotranspiración

Método	Medidas necesarias	Otros datos
Thornthwaite	Temperatura	Latitud, y mediante una tabla se obtiene el número teórico de horas de sol
Blanney-Criddle	Temperatura	Número teórico de horas de sol Coeficiente de cultivo
Turc	Temperatura Horas reales de sol	
Penman-Monteith	Temperatura Horas reales de sol Velocidad del viento Humedad relativa	

El método Penman-Monteith, desarrollado por la FAO, se considera el método estándar de cálculo a escala mundial para las estimaciones empíricas de ETo.

Investiga

Investiga cómo son las características de un tanque de evaporación de clase A (medidas, materiales) y cuáles son las condiciones para su ubicación y explica cómo se realizan las mediciones. Puedes encontrar información en el código QR, que enlaza con un blog sobre Geofísica (grupo IGPERU).

El *Kc (coeficiente de cultivo)* es un coeficiente adimensional cuyo valor depende de las características de la planta; refleja la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su periodo vegetativo. Esta variación es más evidente en *cultivos anuales*, que cubren todo su ciclo en un periodo reducido de tiempo. En los cultivos leñosos de hoja caduca la variación de Kc también es muy marcada a lo largo del año.

En algunos cultivos no hay una diferencia clara en las fases de crecimiento y se adoptan datos para Kc únicos en todo el ciclo (alfalfa, trébol, pastos, olivo…). En otros casos, los valores de Kc van aumentando progresivamente, como en la vid o en la caña de azúcar. Para cada cultivo hay que buscar datos orientativos en las publicaciones existentes, así como recurrir a los servicios de asesoramiento de riegos.

RECURSO ELECTRÓNICO 5.3

En el anexo web 5.3, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los coeficientes de cultivo (Kc) y las etapas de los periodos vegetativos de diferentes cultivos hortícolas y leñosos.

El Kc se calcula para un cultivo con sus necesidades hídricas máximas cubiertas, lo que ocurre cuando hay agua abundante y disponible. Estas condiciones no se dan siempre, por lo que es preciso calcular un riego que sea óptimo económicamente, ya que el precio del agua no es siempre asequible y hay que ponerlo en relación con el valor de la producción esperada. Las necesidades hídricas máximas se pueden reducir sin que haya una apreciable disminución de la producción. De hecho, las experiencias del llamado *riego deficitario* se basan en el conocimiento de la respuesta del cultivo en cada una de las fases de su periodo vegetativo, ajustando el riego a las necesidades del cultivo sin que se produzca un detrimento de la cantidad ni la calidad del producto final.

SABÍAS QUE…?

Para el cálculo de las necesidades de riego existe una herramienta disponible en la web del MAPAMA, desde la cual se puede acceder a los datos agrometeorológicos. La herramienta se denomina SiAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío) y dispone de una amplia red de estaciones meteorológicas que proporcionan dichos datos. En cada comunidad autónoma existe un centro de asesoramiento al regante de la red SiAR.

La finalidad de los servicios de asesoramiento al regante es que los usuarios hagan un manejo eficiente del agua, proporcionando la cantidad necesaria en el momento oportuno. Para ampliar la información, puedes visitar la página web de SiAR accediendo a través de este enlace: www.siar.es.

Ejercicio resuelto 5.3

Se quiere calcular la evapotranspiración de un cultivo (ETc) de lechuga en la localidad de Altea (Alicante). La duración del cultivo es de 75 días en campo, siendo la fecha de plantación el 1 de abril. La superficie es de 500 m^2.

Se consultan los datos de ETo y de Kc en el SiAR, y con ellos se calcula ETc por día, por etapas y total.

Mes	ETo media (mm/día)	Total días	N.º Etapa	Kc	ETc diaria (mm/día) ETc = ETo × Kc	ETc etapa (mm) ETc × n.º de días	ETc etapa (mm)
Abril	3,38	20	1	0,45	1,52	30,42	30,42
Abril	3,38	10	2	0,60	2,03	20,28	77,52
Mayo	4,77	20	2	0,60	2,86	57,24	
Mayo	4,77	11	3	1	4,77	52,47	74,95
Junio	5,62	4	3	1	5,62	22,48	
Junio	5,62	10	4	0,90	5,06	50,58	50,58
Total							233,47

Para una superficie de 500 m^2 se realizará el siguiente cálculo: 233,47 mm = 233,47 l/m^2 →233,47 l/m^2 × 500 m^2 = 116 735 l = 116,735 m^3

5.4.3. Cálculo de las necesidades totales de un cultivo

Para poder realizar una estimación lo más aproximada y fiable posible de las necesidades totales de un cultivo hay que tener en cuenta, además de su ETc, las precipitaciones, la eficiencia del sistema de riego y el contenido en sales del agua utilizada.

A) Necesidades netas (Nn) y precipitación efectiva (Pe)

No toda el agua precipitada puede ser aprovechada por las plantas. Se denomina *precipitación efectiva (Pe)* a la proporción de agua retenida en la capa radical con relación a la cantidad de lluvia caída. Depende de las características del terreno, del cultivo, de la humedad del suelo, de la frecuencia de riego, de la pendiente, etc.

Se denominan *necesidades netas de riego (Nn)* a la ETc menos los aportes efectivos de agua, que son la Pe, el aporte por capilaridad de la capa freática próxima a las raíces y la variación de almacenamiento de agua en el suelo. Estas dos últimas no suelen tenerse en cuenta, salvo en casos muy concretos. Por tanto:

$$Nn = ETc - Pe$$

Si la precipitación mensual (P) es mayor a 75 mm/mes ⇒ Pe (mm/mes) = 0,8P – 25
Si la precipitación mensual (P) es inferior a 75 mm/mes ⇒ Pe (mm/mes)= 0,6P – 10

B) Necesidades totales (Nt), eficiencia de aplicación (Ea) y fracción de lavado (Fl)

Existen una serie de pérdidas de agua en la propia parcela que deben tenerse en cuenta para el cálculo de las necesidades totales. Estas mermas de agua pueden ser debidas a:

1. *Escorrentía superficial:* es el agua que discurre por la superficie del terreno sin llegar a infiltrarse.
2. *Percolación profunda, lavado o lixiviación:* cuando se precisa añadir un exceso de agua para arrastrar las sales sobrantes fuera del alcance de las raíces.
3. *Evaporación directa:* con importancia en el caso de sistemas de aspersión de agua.
4. *Deficiencias en la distribución del agua:* en algunas zonas tiene que aplicarse un exceso de agua, para que en otras llegue el riego necesario.

Por tanto, dado que el agua aplicada no es aprovechada en su totalidad, hay que aportar una cantidad de agua superior a las necesidades netas para asegurar que el cultivo dispone de toda el agua necesaria para su desarrollo. Teniendo esto en cuenta, se calculan las *necesidades totales (Nt)* del cultivo.

Se define la *eficiencia de aplicación (Ea)* del agua como la proporción entre la cantidad de agua almacenada en la zona del sistema radical (disponible para la planta) y la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego. A mayor eficiencia de aplicación, mayor es el volumen del agua que se ha aplicado que queda disponible para la planta.

La eficiencia de aplicación depende del sistema de riego con que se aplique el agua. Como norma general, las eficiencias de los diferentes sistemas de riego son las que vienen indicadas en el cuadro 5.10.

CUADRO 5.10
Eficiencia de aplicación del agua para diferentes sistemas de riego

Tipos de riego	Eficiencia de aplicación
Riegos por superficie:	
– Riego por surcos	0,50-0,70
– Riego por fajas	0,60-0,75
– Riego por inundación	0,60-0,80
– Riego por inundación permanente	0,30-0,40

[.../...]

CUADRO 5.10 (CONT.)

Tipos de riego	Eficiencia wde aplicación
Riego por aspersión	0,65-0,85
Riego por goteo	0,75-0,90

Fuente: Fuentes, J. L., 2003.

Aunque los sistemas de aspersión y goteo son, en general, más eficientes, si no se hace un buen manejo de ellos pueden serlo menos eficientes que un sistema de riego superficial bien aplicado.

La cantidad de agua aportada en exceso debida a la consideración de la eficiencia de aplicación puede ser suficiente para lavar el exceso de sales en el agua si la salinidad en esta es moderada, pero en el caso de aguas salinas, se deben aumentar las Nt calculadas bajo el criterio de la salinidad.

El *umbral de tolerancia a la salinidad* es el valor de sales totales en el agua por encima del cual el cultivo merma su producción con respecto a condiciones no salinas. No se trata de un valor exacto, ya que depende de diferentes factores (tipo de sales, clima, estado de desarrollo de la planta o sistema de riego).

La cantidad de agua de lavado se puede estimar fácilmente a partir de una curva de necesidades de lavado, calculando previamente el *factor de concentración permisible (Fc)*. Este factor se obtiene dividiendo el umbral de tolerancia a la salinidad de una planta por la salinidad del agua de riego, estando ambos valores en las mismas unidades de medida.

Fc = umbral de tolerancia a la salinidad del cultivo / salinidad del agua de riego

Una vez obtenido el Fc, se extrae el valor de las necesidades de lavado (Nl) de la gráfica que se recoge en la figura 5.8, siendo finalmente la *fracción de lavado (Fl):*

$$Fl = 1 - Nl$$

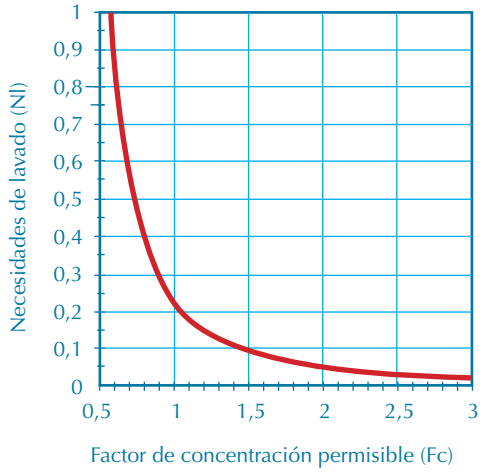


Figura 5.8
Necesidades de lavado (Nl) en función del factor de concentración permisible (Fc).
Fuente: adaptado de Martín, A. *et al.*, 2009.

A partir de aquí se procede a calcular las necesidades totales (Nt) en función del sistema de riego utilizado (cuadro 5.11).

CUADRO 5.11
Cálculo de las necesidades totales según el sistema de riego

Tipo de riego	Cálculo de las necesidades totales (Nt)	
Riego por superficie *Riego por goteo*	Nt = Nn / [Fl o Ea (*)] (*) Fl o Ea, el que tenga el menor valor de los dos	
Riego por aspersión	Si Fl es mayor de 0,9	Nt = Nn / Ea
	Si Fl es menor de 0,9	Nt = 0,9 Nn / Fl Ea

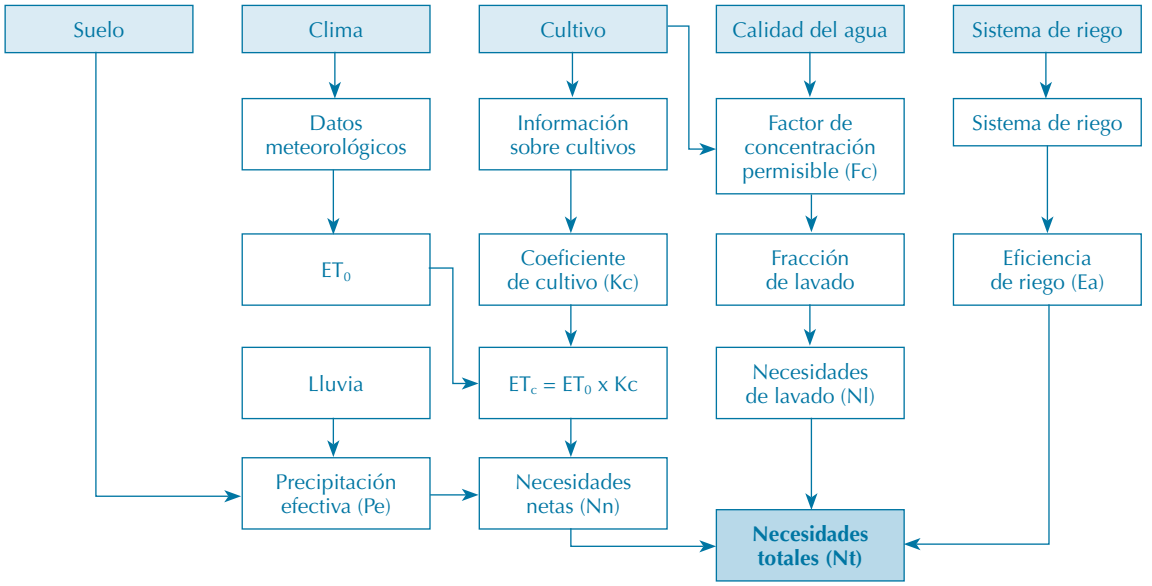


Figura 5.9
Diagrama de cálculo de las necesidades de riego de un cultivo (necesidades totales, Nt).

Ejercicios resueltos

5.4. Se quieren calcular las necesidades totales de un cultivo de naranjos con riego por inundación en la localidad de Bélgida (Valencia) durante los meses de marzo y abril. Se considera una Ea = 0,70. El umbral de tolerancia a la salinidad en cítricos es de 1,7 dS/m. El agua de riego utilizada tiene una CE de 1,0 mmhos/cm.

1. Se consultan los datos de ETo, P y Kc:
   Según los datos obtenidos de la red SiAR, la precipitación total en ese año concreto ha sido de 124 mm en marzo y 32 mm en abril. La ETo en marzo fue de 88,59 mm y en abril de 100,26 mm. Kc = 0,647.

2. Se calcula la ETc (ETc = ETo × Kc):
   Marzo ⇒ ETc = 88,59 × 0,647 = 57,3 mm.
   Abril ⇒ ETc = 100,26 × 0,647= 64,9 mm.

3. Se calcula la Pe:
   En marzo, Pe es mayor de 75 mm → Pe = 0,8P – 25 = 0,8 × 124 – 25 = 74,2 mm.
   En abril, Pe es menor de 75 mm → Pe = 0,6P –10 = 0,6 × 32 – 10 = 9,2 mm.

4. Se calculan las necesidades netas (Nn = ETc – Pe)
   Marzo Nn = 57,3 – 74,2 = –16,9 mm (No hay Nn)
   Abril Nn = 64,9 – 9,2 = 55,7 mm

5. Se calculan las necesidades totales:
   Al ser el riego por inundación: Nt = Nn/Fl o Ea (elegir el menor valor de los dos)
   Se calcula la Fl:
   Fc = Umbral de tolerancia del cultivo/CE del agua = 1,7/1 = 1,7
   Según la gráfica de necesidades de lavado, para un Fc = 1,7, las Nl = 0,05
   luego Fl = 1 – Nl = 0,95
   Como Ea = 0,70, se elige este valor para calcular las Nt = Nn/Ea
   Abril Nt = 55,67/0,7 = 79, 53 mm = 79,53 m^3/ha

5.5. Para el riego de un campo de flor cortada se utiliza agua residual depurada, con una salinidad de 3,3 dS/m. El umbral de tolerancia a la salinidad del cultivo es de 3 dS/m. Calcula las necesidades de lavado para el riego de este campo para el mes de julio si las necesidades netas para este mes son de 44 mm. El riego es por goteo, con una Ea de 0,9.

- Factor de concentración permisible: Fc= 3/3,3 = 0,90 → Según se observa en la figura 5.8, obtenido el resultado de las necesidades de lavado (Nl) se compara con el obtenido para la eficiencia de aplicación (Ea = 0,9) y se toma el valor más bajo de los dos, siendo en este caso Fl.

Nt = Nn / Fl = 44 /0,75 = 58,7 mm para el mes de julio.

Actividad propuesta 5.5

Calcula las necesidades totales de un cultivo de maíz con riego por aspersión en Monreal del Campo (Teruel) durante los meses de junio a octubre, consultando los datos de ETo, Kc y Pe en el SiAR. Se considera una Ea = 0,8 y un umbral de tolerancia a la salinidad del maíz de 1,7 dS/m. El agua de riego utilizada tiene una CE de 2,0 dS/m.

5.5. Tipos y sistemas de riego

Para cubrir las necesidades de agua del cultivo de manera adecuada es importante conocer las principales características de los sistemas de riego disponibles (por superficie, localizado por goteo, aspersión y subterráneo), así como sus ventajas e inconvenientes.

Recurso electrónico 5.4

En el anexo web 5.4, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los tipos y sistemas de riego disponibles.

RECUERDA

✓ El *secano* es un sistema tradicional de gestión del agua de lluvia para sacar adelante los cultivos. Los agricultores de secano son los más experimentados en el ahorro de agua y en el uso de técnicas para aprovechar las precipitaciones: abancalamiento o aterrazado, cultivo en surcos, labores antes o tras las lluvias, manejo de cubiertas vegetales, selección de especies rústicas, rotación de cultivos, etc. Con ellas se pretende mejorar la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Concretamente, el cultivo en surcos genera un mayor volumen de suelo para el cultivo y, si hay problemas de encharcamiento, ayuda a que haya una menor situación de asfixia radicular, reducción de la erosión y aumento de la infiltración.

Figura 5.10
Cultivo de viña en hoyos en Lanzarote.
El muro protege del viento y la capa de ceniza volcánica retiene el agua.
Fuente: García, L. M.

Resumen

- El agua es el principal elemento que toma la planta del suelo, por lo que, desde siempre, el agricultor ha procurado proporcionarla en la cantidad y frecuencia adecuadas. Hoy en día el agua es uno de los recursos más valiosos, y en el futuro, debido al cambio climático, será cada vez más escasa. Por ello, es necesario reflexionar sobre el uso de los sistemas de riego y las posibilidades de ahorro de agua utilizando las técnicas más apropiadas. La elección del cultivo, el sistema de riego y el manejo del mismo vienen determinados por la procedencia y calidad del agua disponible para el riego. Es importante saber interpretar los resultados de un análisis de agua de riego y relacionarlos con sus efectos en los cultivos y en el suelo. Conocer las necesidades hídricas de los cultivos es fundamental a la hora de su planificación y gestión. Hay diferentes métodos para llegar al cálculo de las necesidades totales de riego, teniéndose en cuenta factores relacionados con el clima, el suelo y la planta.
- Para cubrir las necesidades de agua del cultivo de manera adecuada es importante conocer las principales características de los sistemas más utilizados (secano, superficial, localizado por goteo, aspersión y subterráneo), así como sus ventajas e inconvenientes.

Supuesto práctico

Se desea estimar las necesidades hídricas anuales de un cultivo de limonero, en el término de Mula (Murcia) para un año completo, teniendo en cuenta las siguientes características de la finca:

- Hay 2 ha de limoneros injertados sobre mandarino Cleopatra (umbral de tolerancia a la salinidad = 1,92 dS/m), y 1,5 ha de limoneros injertados sobre *Citrus macrophylla* (umbral de 1,21 dS/m).
- El riego es mediante goteo, con una eficiencia de aplicación de 0,85. El suelo es franco-arcilloso.
- El análisis de calidad de agua de riego ofrece los siguientes datos:

Propiedades químicas y físicas	pH	7,09
	CE_{25}	1,38 dS/m
	Dureza	22,11 °F
	Sólidos en suspensión	35 mg/l
Composición química	*Cationes:*	meq/l
	Calcio	1,81
	Magnesio	2,61
	Sodio	8,17
	Potasio	0,22
	Aniones:	
	Bicarbonatos	1,97
	Cloruros	8,70
	Nitratos	< 0,03
	Sulfatos	3,11
	Oligoelementos:	
	Boro	< 0,63 mg/l
	Hierro	< 0,05

- Los datos de ETo, Kc y Pe que se deben utilizar son los ofrecidos por la red SiAR para el último año completo del que se dispongan datos (Por ejemplo, de enero a diciembre de 2017).

a) Interpreta los valores indicados en el análisis de agua y las recomendaciones que se derivan de ello.
b) Calcula el volumen de riego que debe aplicarse cada mes y anualmente para cada parte de la finca, y en total.
c) Indica el total de nitrógeno en forma nítrica aportado anualmente por el agua de riego (g/ha).
d) Reflexiona sobre si el sistema de riego utilizado es adecuado para las características del cultivo, del agua y del suelo disponible.

Actividades de autoevaluación

1. Son factores que aumentan la ET de un cultivo determinado:
   - ☐ *a)* El aumento de radiación, temperatura del aire y velocidad del viento.
   - ☐ *b)* La baja fertilidad del suelo, la presencia de enfermedades y parásitos, y el uso limitado de fertilizantes.
   - ☐ *c)* La presencia de setos cortavientos, el riego por goteo, las coberturas de suelo y el uso de antitranspirantes.
   - ☐ *d)* La mayor resistencia a la transpiración, la altura de cultivo y la rugosidad y cobertura del suelo.

2. Un agua con CE = 3,1 dS/m se considera que es, con respecto a su uso para el riego:
   - ☐ *a)* No apta para el riego.
   - ☐ *b)* Depende del SAR.
   - ☐ *c)* Excelente para el riego.
   - ☐ *d)* Depende de la textura del suelo.

3. El CSR es:
   - ☐ *a)* La suma de carbonatos y bicarbonatos disueltos en el agua.
   - ☐ *b)* La suma de carbonatos y bicarbonatos menos el Ca y el Mg disueltos en el agua.
   - ☐ *c)* Una relación entre Ca y Mg disueltos en el agua.
   - ☐ *d)* Carbonato sódico residual.

4. El rendimiento de un cultivo es máximo cuando:
   - ☐ *a)* Su ET real coincide con su ET potencial o máxima.
   - ☐ *b)* Su ET real es menor que su ET potencial o máxima.
   - ☐ *c)* Su ET real es igual a la ETo.
   - ☐ *d)* Su ET real es mayor que a su ET potencial o máxima.

5. Cada m^3 de agua con una concentración de nitratos de 1 meq/l, aporta al suelo:
   - ☐ *a)* 14 g de N en forma nítrica.
   - ☐ *b)* 14 kg de N en forma amoniacal.
   - ☐ *c)* 14 kg de N.
   - ☐ *d)* Una cantidad despreciable de N.

SOLUCIONES:

1. **a** b c d **2.** a b c **d** **3.** a **b** c **d** **4.** **a** b c d **5.** **a** b c d

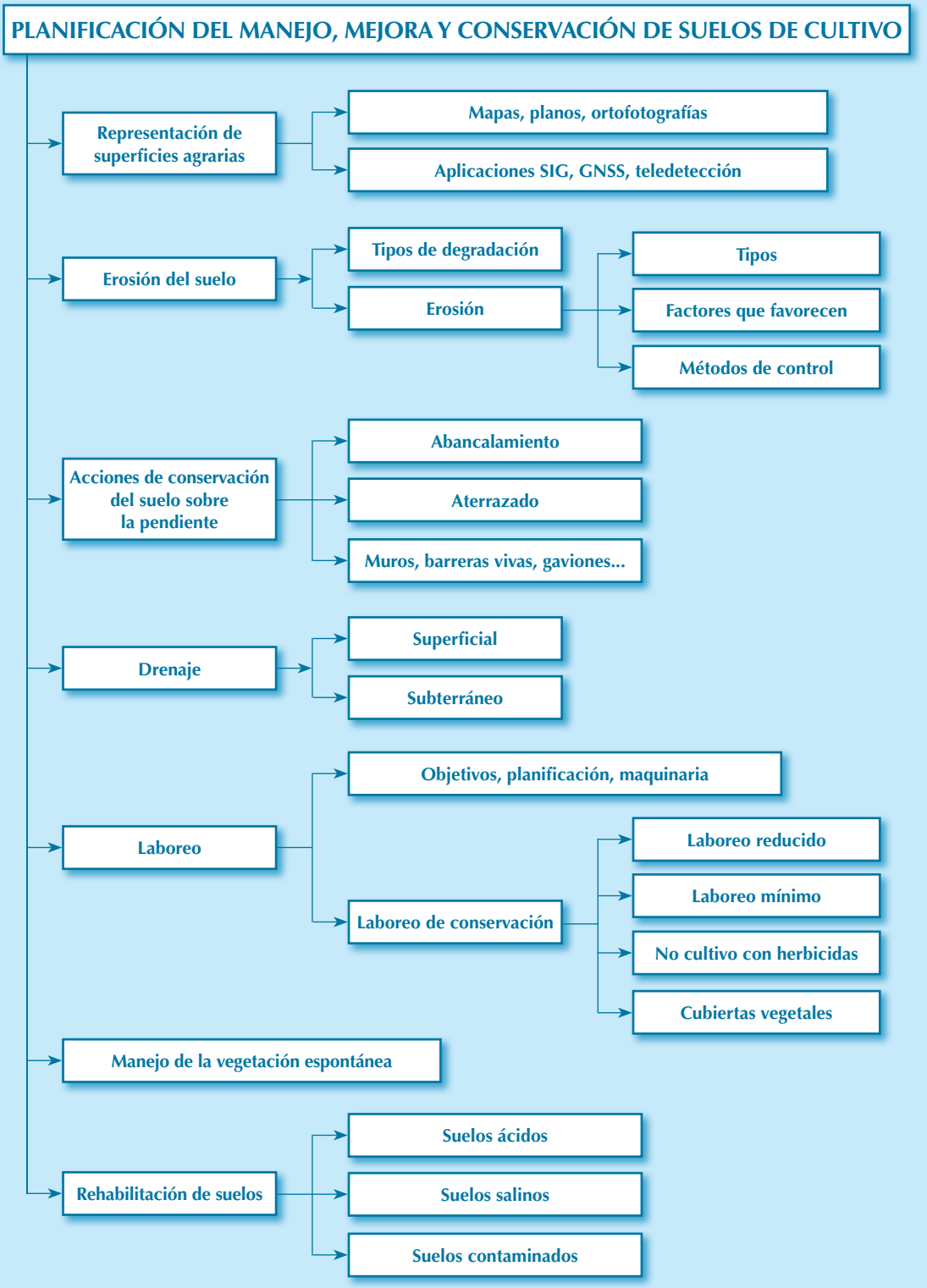
6

Planificación del manejo, mejora y conservación de suelos de cultivo

Objetivos

- ✓ Conocer e interpretar representaciones topográficas para la planificación y el manejo del suelo y de los cultivos.
- ✓ Reconocer las principales causas de la degradación de suelos agrícolas.
- ✓ Aprender las principales actuaciones sobre el suelo dirigidas a minimizar la erosión hídrica y la desertización.
- ✓ Entender los objetivos y consecuencias del laboreo del suelo, procediendo a su programación y selección de aperos, valorando los métodos alternativos del laboreo de conservación.
- ✓ Saber planificar distintos sistemas de drenaje y desagüe en función de las necesidades y condiciones disponibles.
- ✓ Diseñar programas de corrección de problemas de pH y salinidad del suelo.
- ✓ Identificar la problemática de la contaminación de suelos agrícolas y de los posibles tratamientos para remediarlos.

Mapa conceptual



Glosario

Agricultura de precisión. Aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental.

Cárcava. Socavones producidos en rocas y suelos, sobre todo arcillosos, de lugares con pendiente a causa de la erosión hídrica. Provocan erosión remontante.

Denudación. En el ámbito de la geología, proceso de desplazamiento de la capa más externa del suelo.

Georreferenciación. Determinación de una localización en un sistema determinado.

Metal pesado. Elemento químico con un peso mayor a 6 g/cm3. Los hay tóxicos (Pb, Hg, Cd) y no tóxicos (Ag, W, Au), siendo algunos elementos esenciales para las plantas (Fe, Mn, Zn, Co, Cu...).

Ortofotografía. Imagen georreferenciada y a escala del territorio, resultado de la unión de varias fotografías aérea correctamente orientadas.

Suela de labor. Capa inmediatamente inferior a la capa arable. Se produce al realizar labores de labranza repetidas a la misma profundidad, lo que conduce a la formación de una capa bastante dura e impermeable, difícil de ser atravesada por las raíces y bajo la cual suele faltar el aire y la humedad.

Vuelo fotogramétrico. Vuelo que proporciona el conjunto de fotografías necesarias para cubrir el territorio. Estas fotografías se obtienen desde un avión en cuyo fuselaje va instalada una cámara fotográfica métrica.

6.1. Introducción

En capítulos anteriores se ha explicado cómo el suelo es mucho más que el espacio físico donde crecen las plantas. Para poder tomar decisiones adecuadas en el contexto de la planificación de cultivos, es necesario conocer e interpretar representaciones de las superficies agrarias así como tener nociones básicas de los sistemas GNSS y SIG.

6.1.1. Las superficies agrarias y su representación

La representación de superficies agrícolas se realiza mediante *mapas* (grandes superficies), *planos* (pequeñas superficies) *ortofotografías* (representación fotográfica) o *croquis* (dibujos a mano alzada).

Estas representaciones (excepto los croquis) presentan un factor de reducción o *escala*, que es la proporción de la realidad frente a su representación. Se puede indicar numéricamente (por ejemplo, 1:500, que significa que una unidad de longitud en el mapa o plano son 500 unidades

de longitud en la realidad) o gráficamente, mediante un segmento que indica una longitud determinada.

Se define *superficie agraria* como aquella superficie proyectada sobre un plano horizontal. La representación de estas superficies se realiza mediante *métodos planimétricos* para representar la posición en cada punto en el plano horizontal (coordenadas *x* e *y*) y mediante *métodos altimétricos* para representar sus cotas o elevaciones (coordenada *z*).

Las *curvas de nivel* son las líneas que unen puntos con la misma cota, altitud o elevación con respecto a un plano de referencia horizontal. Con ayuda de las curvas de nivel es posible determinar la altitud de cualquier punto del terreno, hallar las pendientes y resaltar la forma y los accidentes del terreno.

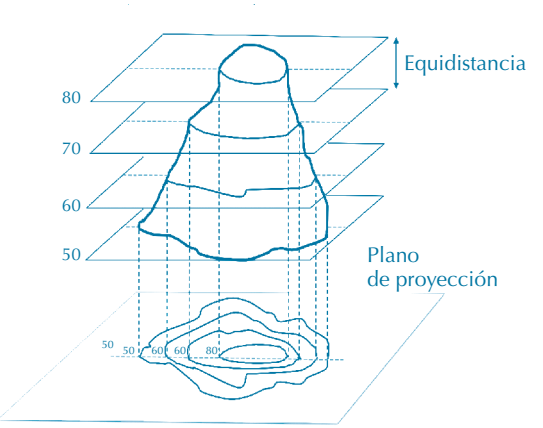
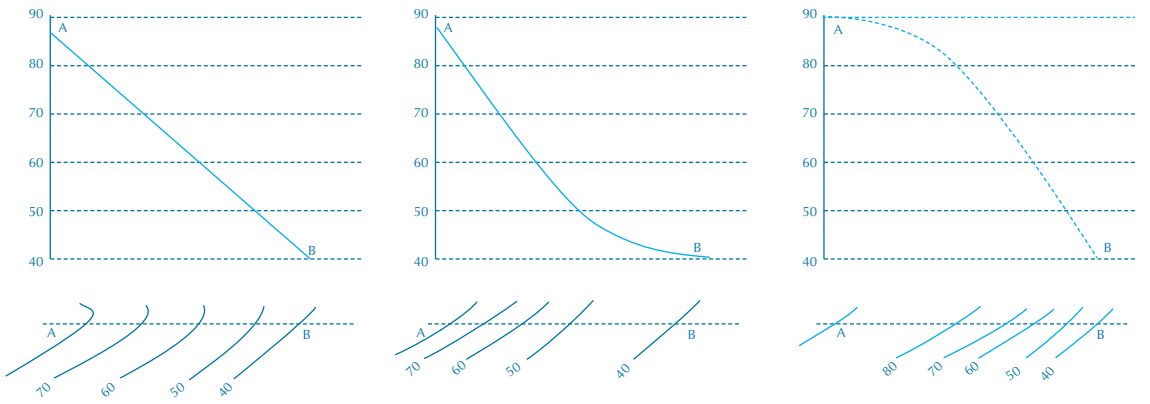


Figura 6.1
Ejemplo de representación con curvas de nivel.

Las *laderas* o *vertientes* son formas planas o curvas del terreno que se representan por curvas de nivel más o menos paralelas. Cuando las curvas de nivel son concéntricas, indican una *elevación* si las cotas son ascendentes y una *depresión* si las cotas son descendentes.

Cuanto más próximas están entre sí las curvas de nivel, indica una pendiente más acusada, y si están más espaciadas, una pendiente menor o más suave.



a) Ladera plana *b)* Ladera cóncava *c)* Ladera convexa

Figura 6.2
Pendientes representadas por curvas de nivel.

6.1.2. Tecnologías SIG y GNSS en la representación de superficies agrarias

En la actualidad, las herramientas principales que se utilizan para obtener representaciones de las superficies agrarias son los *sistemas de navegación global por satélites* (GNSS) en combinación con los *sistemas de información geográfica* (SIG).

Los GNSS (como el GPS o Galileo) utilizan receptores de señales de satélites que permiten conocer la posición geográfica y la altitud de un determinado punto, además de permitir planificar rutas o hacer determinados cálculos de velocidad, etc.

Los SIG son *software* creados para el almacenamiento y procesamiento de datos georreferenciados de diversa naturaleza. Al comienzo de la aparición de los SIG, estos se limitaban a traducir la información topográfica ya existente a entornos virtuales. Posteriormente, se procedió a combinar la información puramente geográfica o topográfica con diferentes bases de datos. En la actualidad, se ha conseguido acoplar datos en tiempo real con información sobre posicionamiento. Estos datos en tiempo real pueden ser obtenidos mediante diferentes sensores colocados *in situ* o mediante técnicas de *teledetección*.

La *teledetección*, o percepción remota, comprende técnicas que permiten obtener información sobre un objeto, área o fenómeno sin estar en contacto directo con ellos. Consisten en diferentes tipos de sensores ubicados en plataformas móviles, bien sea satélites, aviones, drones o vehículos terrestres.

Mediante la gestión e integración de los datos a través de los SIG, se pueden analizar, crear modelos espaciales, realizar inventarios, simular o predecir comportamientos y representar una gran cantidad de información en forma de mapas, gráficos, figuras, etc., que ayude a realizar diferentes trabajos de movimientos de tierras, replanteo de cultivos, siembras, riegos y todo tipo de toma de decisiones.

Todas estas técnicas señaladas se canalizan a través de Internet, activando sistemas de alerta que el agricultor recibe, bien en forma de alarma, *sms*, correo electrónico, etc., a su *smartphone* o a cualquier otro receptor, o bien activando o desactivando directamente algunos sistemas de respuesta automatizados.

Recuerda

✓ Hay aplicaciones SIG libres (como QGIS) que utilizan *software* libre y gratuito con los que se pueden manejar y crear productos cartográficos con diferentes tipos de datos. De la misma manera, existen visores SIG de consulta *online* que se pueden utilizar para diferentes proyectos y que ofrecen información relacionada con la actividad agraria. El más importante es el SIGPAC (sistema de información geográfica de parcelas agrícolas) desarrollado por el Ministerio en materia de agricultura y medio ambiente.

Figura 6.3
Imagen obtenida con SIGPAC en la que, sobre una ortofoto, se superpone información sobre parcelación agraria.

6.2. La degradación de suelos agrícolas

La *degradación* del suelo es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir bienes y servicios, de manera cuantitativa o cualitativa. Un suelo degradado es incapaz de sostener el ecosistema original, produciendo menos cantidad de biomasa que pueda ser utilizada por el ser humano, o que fortalezca la estabilidad de la biocenosis que allí se instala.

El uso agronómico del suelo lleva consigo un riesgo de degradación si no se tienen en cuenta sus características naturales y se sobrepasa su resiliencia o capacidad de amortiguación de factores degradantes. Los principales *tipos de degradación del suelo* que se pueden producir como consecuencia de la agricultura son:

a) La pérdida de la fertilidad del suelo, relacionada con la pérdida de materia orgánica.
b) La erosión hídrica, consecuencia del deterioro de la estabilidad del suelo (pérdida de estructura, disminución de la permeabilidad y aumento del drenaje…).
c) La contaminación, provocada por el uso de plaguicidas y abonos.
d) El sellado de la superficie, resultante de la construcción de edificaciones e infraestructuras.

Todo ello se traduce a corto plazo en una disminución de la producción en términos agronómicos y, a largo plazo, en un aumento del riesgo de *desertificación*.

PARA SABER MÁS

La *desertificación* es el proceso de degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas resultantes, entre otros, de factores climáticos y actividades humanas.

Se definen como *zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas* aquellas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración (P/ET) está comprendida entre el 5 y el 65 %. Más de dos terceras partes de la superficie del territorio español forman parte de esta categoría.

Los devastadores efectos de la desertificación son, entre otros, la pérdida o reducción de la biodiversidad, la disminución de los rendimientos en las cosechas, la salinización y sodificación del suelo, el aumento drástico de la erosión hídrica y eólica, las sequías recurrentes por interrupción del ciclo hidrológico y, como consecuencia de todo ello, repercusiones sociales muy importantes como la pobreza y las migraciones.

Actividad propuesta 6.1

El *Programa de acción nacional contra la desertificación* (PAND) tiene como objetivos contribuir a la prevención o la reducción de la degradación de suelos, su rehabilitación y la recuperación de tierras desertificadas. Enumera las estrategias y las actuaciones más importantes incluidas en el PAND. Puedes consultar toda la información al respecto en la página del MAPAMA sobre desertificación.

6.2.1. Erosión del suelo

La erosión del suelo es un fenómeno complejo que consiste en la disgregación o meteorización de un suelo o material rocoso por acción de los agentes atmosféricos, y la posterior denudación por arrastre de las partículas disgregadas. Es un proceso natural, pero la acción humana acelera y modifica negativamente la evolución natural y los procesos erosivos. La pérdida de suelo por fenómenos erosivos es uno de los problemas ambientales más importantes del planeta, ya que, según la FAO, se pierden entre cinco y siete millones de hectáreas de tierra cultivable cada año. Si se considera que se tarda de 300 a 1000 años en recuperar de dos a tres centímetros de suelo perdido, se puede comprender la magnitud del problema.

A) Tipos de erosión

La *erosión hídrica* se produce cuando el arrastre de las partículas de suelo lo lleva a cabo el agua, mientras que en la *erosión eólica* el agente de transporte es el aire. El primer tipo de erosión es mucho más importante, sobre todo en los suelos agrícolas.

CUADRO 6.1
Daños derivados de la erosión hídrica del suelo

Daños directos	Daños indirectos
– Pérdida de los horizontes más fértiles. – Pérdida de materia orgánica. – Pérdida de nutrientes. – Pérdida de la fracción químicamente activa del suelo. – Debilitamiento de la estructura. – Aumento de la rugosidad superficial. – Disminución del espesor efectivo. – Disminución de la capacidad de infiltración. – Aumento de la compactación.	– Contaminación de aguas superficiales y subterráneas. – Aterramientos en zonas agrícolas: la pérdida de 1 mm de espesor de suelo supone unos 13 tm/ha. – Colmatación de presas hidráulicas. – Impactos en la infraestructura de comunicaciones. – Daños en las redes de canales y acequias de regadío.

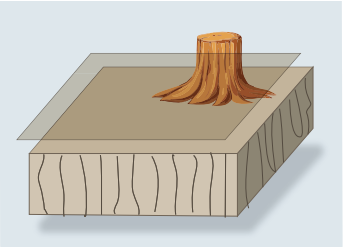
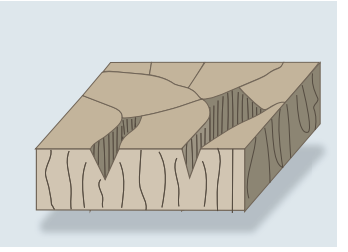
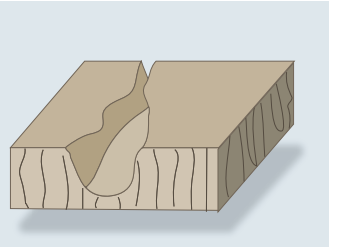
B) El proceso de erosión hídrica

El golpeteo de las gotas de agua sobre el suelo produce disgregación de los componentes del suelo y compactación de la superficie, dando lugar a una *costra superficial*. Esta compactación de la superficie disminuye la capacidad de infiltración del agua y el aumento de la escorrentía, lo que globalmente provoca un arrastre de las partículas de suelo.

La erosión hídrica del suelo se puede clasificar en función de su intensidad y efectos sobre el mismo en las siguientes fases:

erosión laminar o en manto → erosión en regueros o surcos → erosión en cárcavas o barrancos

CUADRO 6.2
Tipos de erosión hídrica del suelo

Erosión laminar o en manto	Erosión en regueros o surcos	Erosión en cárcavas o barrancos
– Suelos de poca pendiente, uniformes. – Pérdida del suelo más superficial, con más materia orgánica. – A corto plazo: casi imperceptible. – A largo plazo: gravas y guijarros en superficie, raíces de árboles al descubierto. – Acumulación de tierra en tramo final. – Muy común en tierras de cultivo.	– Suelos de más pendiente. – Se van concentrando los hilillos de corriente a favor de las líneas de máxima pendiente. – Se abren incisiones longitudinales, de hasta 30 cm de profundidad. – Sección transversal de los surcos en U o en V.	– La cárcavas son incisiones de anchura mayor a 30 cm que crecen en profundidad y anchura por arrastre y desmoronamiento de las paredes. – Provocan la llamada erosión remontante. – Indican estado avanzado de erosión, a veces, irreversible y conducente a barrancos (con profundidades mayores de 80 cm). – Gran impacto paisajístico.
		

C) Factores que favorecen la erosión hídrica

Las pérdidas de suelo debidas a la erosión hídrica pueden cuantificarse con la llamada *ecuación universal de las pérdidas de suelo revisada* (conocida como USLE o RUSLE). Esta ecuación es la siguiente, siendo A las pérdidas de suelo en tm/ha y año:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

CUADRO 6.3
Factores integrantes de la ecuación universal de las pérdidas de suelo

	Factor de erosión	Aumenta con...
R	*Índice de erosión pluvial (erosividad de la lluvia)*. Es el producto de la energía total de la tormenta y su máxima intensidad en 30 minutos.	– El tamaño de las gotas de lluvia. – La intensidad de la lluvia en 30 minutos. – La torrencialidad (estacionalidad de las lluvias).

[.../...]

CUADRO 6.3 (CONT.)

	Factor de erosión	Aumenta con...
K	Factor de *erosionabilidad del suelo* o susceptibilidad del suelo para ser erosionado. Es la tasa de pérdida de suelos para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22,13 m de largo, 9 % pendiente, en barbecho y labranza continua).	– El desequilibrio textural del suelo. – La disminución del contenido en materia orgánica. – La disminución de la profundidad del suelo.
L	Factor de *longitud de la ladera*. Es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).	– La longitud de la pendiente.
S	Factor de magnitud de la *pendiente*. Es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9 %, con todos los otros factores idénticos.	– El aumento del ángulo de pendiente.
C	Factor de cultivo o *de cubierta y manejo*. Es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua.	– La disminución de la cobertura de copas. – El aumento de la altura de copas. – La disminución del número de estratos de vegetación.
P	Factor de *prácticas de conservación del suelo*. Es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo a nivel, barreras vivas o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente.	Es mayor cuando no se realiza ninguna práctica de conservación, y va disminuyendo progresivamente si se cultiva en surcos, bancales y terrazas (por ese orden).

Fuente: adaptado de Onstad, C. A. y Foster, G. R., 1975.

Se considera que en un suelo la erosión es tolerable cuando la pérdida es menor de 1 a 8 t/ha (dependiendo de su espesor útil), equivalente aproximadamente a la pérdida de un milímetro al año en el espesor del suelo.

PARA SABER MÁS

En el territorio español, y particularmente en la región mediterránea, se dan varias condicionantes que favorecen el riesgo de erosión y de desertificación, como son:

- Clima semiárido en grandes zonas, sequías estacionales, extrema variabilidad de las lluvias y lluvias súbitas de gran intensidad, propias del clima mediterráneo.
- Suelos pobres y desequilibrados, con marcada tendencia a la erosión.

- Relieve desigual, con laderas escarpadas y paisajes muy diversificados.
- Pérdidas de la cubierta forestal a causa de incendios forestales recurrentes.
- Crisis en la agricultura tradicional, con el consiguiente abandono de tierras y deterioro del suelo y de las estructuras de conservación del agua y del suelo (bancales, muros de piedra, acequias, etc.).
- Sobreexplotación de los recursos hídricos subterráneos, contaminación química y salinización de acuíferos.
- Concentración de la actividad económica en las zonas costeras como resultado del crecimiento urbano, las actividades industriales, el turismo y la agricultura de regadío.

D) Control de la erosión hídrica de los suelos de cultivo

Las medidas protectoras y de conservación de suelos agrícolas se pueden agrupar en los tipos que se recogen en el cuadro 6.4.

CUADRO 6.4
Técnicas de control de la erosión hídrica en suelos agrícolas

Técnicas agronómicas	Técnicas relacionadas con la silvicultura y el pastoreo	Técnicas de laboreo del suelo	Técnicas mecánicas
– Restauración y mantenimiento de la materia orgánica del suelo y la fertilidad. – Rotación de cultivos. – Cultivos de alta densidad. – Cultivos de protección. – Retención de residuos. – Cultivos en fajas.	– Reforestación. – Revegetación. – Control del pastoreo. – Prevención de incendios.	– Laboreo en contorno (siguiendo las curvas de nivel). – Laboreo de conservación: no laboreo, laboreo mínimo, etc.	– Vías de drenaje. – Terrazas escalonadas. – Abancalamiento.

El primer paso para conservar un suelo de cultivo es destinarlo a la función que le corresponde, sin exceder su capacidad de carga, que se determina en función de sus características limitantes, relacionadas con su *erosionabilidad* (pendiente, profundidad, características físicas y químicas) y con la *erosividad* del clima (régimen de precipitaciones, etc.).

6.3. Actuaciones sobre la pendiente del terreno

Las medidas de prevención de la erosión hídrica tienen como finalidad:

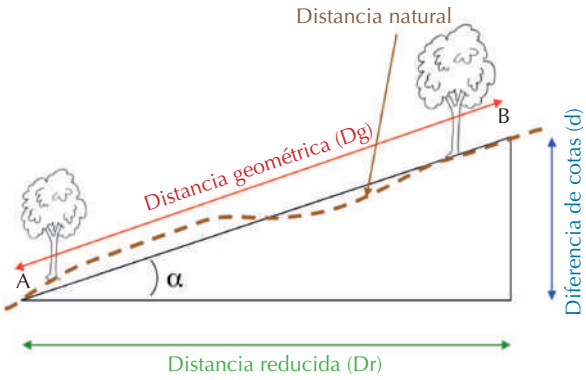


Figura 6.4
Pendiente entre dos puntos A y B

a) Proporcionar cohesión a las partículas de suelo para resistir las fuerzas de arrastre.
b) Reducir o eliminar la escorrentía superficial aumentando la infiltración.
c) Controlar la velocidad del agua de escorrentía.
d) Asegurar un drenaje eficaz del exceso de agua.

RECUERDA

- ✓ sen α = d/Dg
- ✓ cos α = Dr/Dg
- ✓ tan α = sen α / cos α = d/Dr

Las técnicas mecánicas para mantener el arrastre del suelo dentro de unos límites admisibles consisten en reducir la pendiente del terreno (abancalado), disminuir la longitud de la pendiente (aterrazado), controlar la velocidad del agua mediante obstáculos (barreras vegetales) o canalizar el agua sobrante mediante vías de drenaje.

6.3.1. La pendiente del terreno

La pendiente media entre dos puntos es la relación entre su diferencia de cotas o desnivel (d) y la distancia reducida que los separa (Dr). La pendiente puede expresarse en tanto por uno (p), tanto por cien (p (%)) o grados de pendiente (α):

$$p = d/Dr$$
$$p\ (\%) = p \times 100$$
$$\alpha = \arctan(p)$$

Para determinar la pendiente media entre dos puntos o la pendiente máxima en un punto, se pueden utilizar varios métodos:

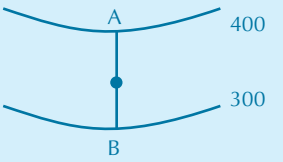
1. *Método topográfico.* Para el cálculo de la pendiente máxima de un punto en un mapa topográfico, se debe trazar una línea que pase por el punto y que sea perpendicular a las dos curvas entre las que se encuentra el punto. Posteriormente, se mide sobre el plano la distancia de la línea entre los puntos de corte con las curvas de nivel y, atendiendo a la escala del plano, se determina la distancia reducida existente entre las curvas de nivel.
2. *Método del clinómetro óptico.* El clinómetro óptico es un instrumento de precisión que mide ángulos verticales y que se utiliza para estimar la altura de los árboles y la pendiente del terreno. En el visor del clinómetro óptico se ve una retícula y dos escalas,

Ejercicios resueltos

6.1. Halla la pendiente media entre los puntos A y B sabiendo que la escala del mapa es de 1:50 000

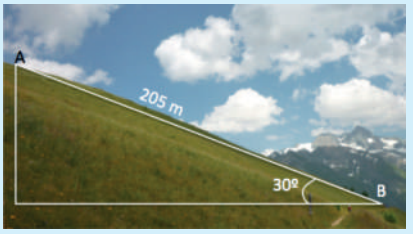
Distancia en el mapa: 1,3 cm (0,013 m).
Distancia reducida a escala: 0,013 × 50 000 = 650 m.

p = d / Dr = (400 – 300) / 650 = 0,1538.
p (%) = p × 100 = 0,1538 × 100 = 15,38 %.
α = arctan (p) = arctan (0,1538) = 8,74°.



6.2. Calcula el desnivel entre los puntos A y B:

sen α = d / Dg ⇒ sen 30 = d / 205.
d = 205 × sen 30 = 205 × 0,5 = 102,5 m.



una está indicada en grados y la otra en porcentaje de pendiente. Ambas tienen un tramo positivo (+) para medir pendientes ascendentes y uno negativo (–) para medir pendientes descendentes. Manteniendo los dos ojos abiertos, se mira con uno de ellos a través del clinómetro óptico, de manera que la retícula coincida con el punto superior del bastón o la vara de altura conocida e igual a la altura de medida desde el punto de lectura. En esta posición, se lee la graduación en las unidades que se prefieran, obteniendo los valores de α (en grados) o de p (%).

Figura 6.5
Clinómetro.
Fuente: Suunto.

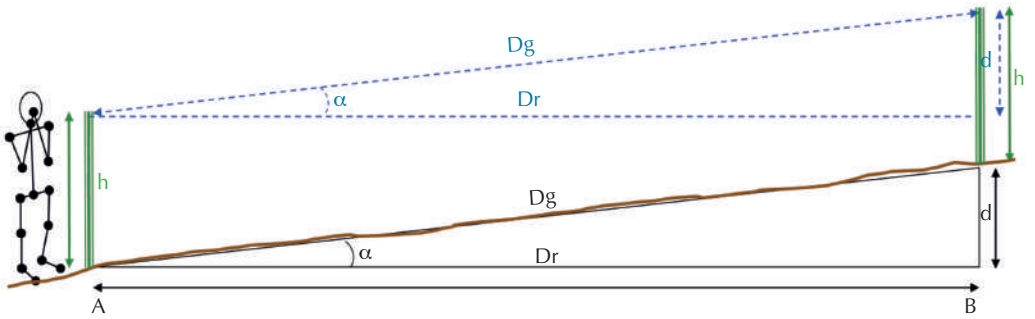


Figura 6.6
Uso del clinómetro para obtener la pendiente media del terreno entre dos puntos, A y B.

- *Valores admisibles de pendiente del terreno agrícola*

Mientras el terreno no supere la pendiente del 12 % (pendiente de iniciación de la erosión), se trata de suelos agrícolas, sujetos únicamente a las buenas prácticas de cultivo y a la conservación de su productividad. A partir del 12 % de pendiente y hasta alcanzar la pendiente de arrastre total (que dependiendo de los tipos de suelo varía entre el 18 % y el 24 % de pendiente) los suelos siguen manteniendo su vocación agrícola, pero necesitan de prácticas importantes de conservación de suelos, como las terrazas o los bancales, para controlar en ellos la erosión hídrica, que también podría ser regulada dedicándolos a pastizales.

Los pastizales bien conservados aseguran una buena protección del suelo frente a la erosión hídrica hasta el 30 % de pendiente, disminuyendo a partir de este valor conforme aumenta el gradiente del terreno. A partir del 30 % de pendiente, la única opción que garantiza la correcta protección del suelo ante la erosión hídrica es una cubierta vegetal lignificada, de matorral denso y que cubra totalmente el suelo y, como opción preferible, el bosque.

El *tipo de sistema de riego* es uno de los factores que más determinan la pendiente admisible en un terreno de cultivo:

- Los sistemas de riego por goteo y aspersión pueden adaptarse a la topografía del terreno, incluso en superficies onduladas, y pueden no necesitar de nivelaciones.
- En riegos por superficie, la uniformidad de riego, la posibilidad de encharcamiento y el riesgo de erosión determinan las pendientes de trabajo. En el riego por surcos o por fajas, estos deben tener la misma pendiente en toda su longitud. La pendiente óptima está entre 0,2 y 0,5 %, pudiendo llegar hasta un máximo del 2 %. Con pendientes muy pequeñas puede haber problemas de encharcamiento en épocas de lluvias, por lo que conviene disponer de un drenaje adecuado. En suelos arcillosos se pueden utilizar pendientes más próximas al 0 %, mientras que en suelos arenosos se puede llegar hasta el 2 %. La pendiente transversal debe ser prácticamente nula.

Actividades propuestas

6.2. Tenemos un plano a escala 1:10000 que representa una ladera; las curvas de nivel, cuya equidistancia (diferencia de cotas entre curvas consecutivas) es de 5 m, están separadas entre sí 15 mm. Calcula la pendiente de la ladera y exprésala de tres formas diferentes.

6.3. La lectura de un clinómetro entre dos puntos separados entre sí 75 m (distancia reducida) da una lectura de –3°. ¿Qué distancia geométrica hay entre los dos puntos? Si la cota del punto desde el que se realiza la observación es de 325 msnm, ¿cuál es la cota del segundo punto?

6.3.2. Abancalado de un terreno

El *abancalado* de un terreno consiste en la interrupción de la pendiente natural para hacer rellanos o bancales con menor pendiente y longitud. En la mayoría de los casos, cada bancal tienen forma de cuadrilátero alargado, y viene caracterizado por:

a) *Longitud del bancal (L):* dimensión más o menos perpendicular a la dirección de la máxima pendiente del terreno. Suele ser la mayor de las dimensiones.

b) *Anchura del bancal (a):* dimensión que sigue la dirección de la máxima pendiente.
c) *Eje del bancal:* línea longitudinal del mismo. El trazado del bancal debe hacerse de manera que su eje sea paralelo a las curvas de nivel.
d) *Pendiente longitudinal (Ig):* pendiente del eje del bancal. Puede ser nula.
e) *Pendiente transversal (Iv):* es la perpendicular a la anterior, que L también puede ser nula, pero no simultáneamente con ella.

$$Iv = \tan ß$$

f) *Altura del bancal (h):* diferencia de cotas entre dos bancales.
g) *Pendiente inicial del terreno (It):* $It = \tan \alpha$

$$h = a \times (It - Iv)$$

La longitud de los bancales (L) se sitúa entre 100 y 250 m y la anchura (a) entre 15 y 50 m, si bien hay numerosas excepciones. Para cultivos leñosos, es habitual que L quede reducida a 8-10 m:

- A mayor pendiente del terreno, menor anchura.
- A mayor pendiente transversal, mayor posible anchura del bancal.
- A mayor espesor del suelo agrícola, mayor probabilidad de aumentar los desmontes y terraplenes, es decir, mayor *h* y por tanto, mayor *a*.

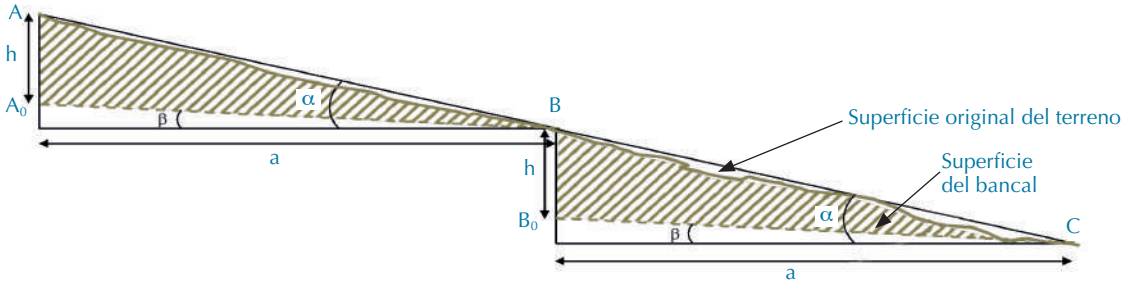


Figura 6.7
Sección transversal de una ladera abancalada.

En la práctica, la recta A_0B se desplaza a A_1B_2 para compensar los volúmenes de desmonte y terraplén en cada bancal y así minimizar los movimientos de tierra (figura 6.8).

En ese caso, $AA_1 = B_2B = BB_1 = h/2$.

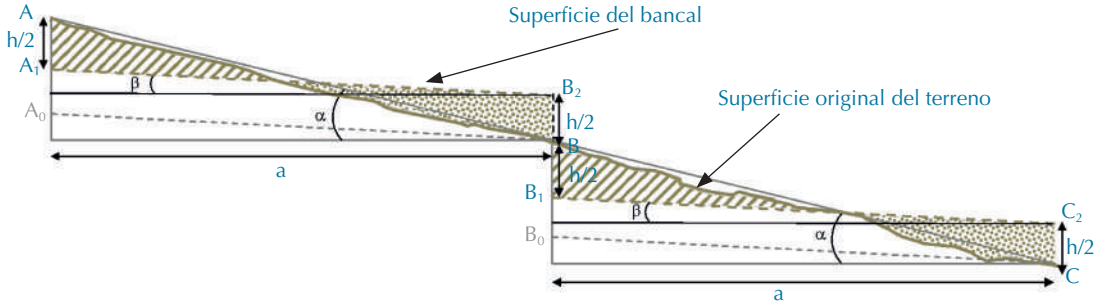


Figura 6.8
Sección transversal de una ladera abancalada con minimización de movimientos de tierra.

Se pueden distinguir varios tipos de bancales:

1. *Bancal con talud natural:* el talud (h) debe protegerse para aumentar su resistencia mediante el mantenimiento de vegetación natural o reforzarse mediante diferentes técnicas de estabilización, como la siembra o plantación de vegetación de especies seleccionadas o el uso de mallas o geotextiles.
2. *Bancal con muro:* el talud queda protegido por un muro de contención, construido con mampostería en seco, gaviones, gunitado (hormigón proyectado), etc. Se emplean en pendientes elevadas, en cultivos muy rentables o en zonas con abundancia de piedra. Para aumentar la vida útil de la construcción se debe proporcionar una ligera contrapendiente (1 %) hacia el muro superior, a lo largo del cual se construye un canal de desagüe para el agua sobrante de la lluvia o del riego.
3. *Bancal semicircular:* es una protección individual para cada árbol, generalmente de mampostería en seco, o bien de ramas, malla metálica u otro tipo de materiales. Son difíciles de mantener y su eficacia es relativa.

Figura 6.9
a) Muro de piedra en seco en rehabilitación;
b) Herramientas utilizadas para la restauración de muros construidos con esta técnica.

Ejercicio resuelto 6.3

Se quiere abancalar una ladera cuya pendiente (It) es del 10 %. La pendiente de los bancales resultantes (Iv) debe ser del 3 %, con una anchura (a) mínima de 20 m. La distancia geométrica de la ladera es de 90 m.

a) ¿Cuál será la diferencia de cotas (h) entre bancales consecutivos?

$h = a \times (It - Iv) = 20 \times (0{,}10 - 0{,}03) = 20 \times (0{,}07) = 1{,}4$ m

b) ¿Cuántos bancales hay que construir?

$\alpha = \arctan p = \arctan 10/100 = \arctan 0{,}1 = 5{,}71°$
$\cos \alpha = Dr/Dg \Rightarrow Dr = \cos \alpha \times Dg \Rightarrow Dr = \cos 5{,}71 \times 90 = 89{,}56$ m
N. ° de bancales que hay que realizar = 89,56/20 = 4,47 bancales

Por lo tanto, habrá que hacer, por ejemplo, tres bancales de 20 m de anchura y un bancal con una anchura de $89{,}56 - 3 \times 20 = 29{,}56$ m.

Actividad propuesta 6.4

Se quiere realizar una abancalado en una ladera con los siguiente datos de partida: Dg = 100 m; pendiente del terreno del 20 %; anchura mínima de bancal de 15 m.

Dimensiona un abancalamiento con una pendiente de bancal máxima del 8 %, minimizando los movimientos de tierra.

6.3.3. Cultivo en terrazas

Las terrazas son estructuras de defensa que modifican el relieve pero que no anulan la pendiente original del terreno. Los objetivos fundamentales del aterrazado son limitar el arrastre del suelo a un valor admisible y reducir la escorrentía gracias a la absorción o a la evacuación del exceso de agua. Cada terraza se apoya en un *surco* y un *lomo*, ambos paralelos a las curvas de nivel.

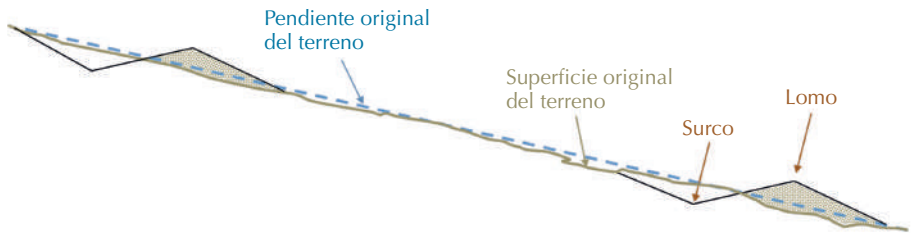


Figura 6.10
Sección transversal de una ladera aterrazada.

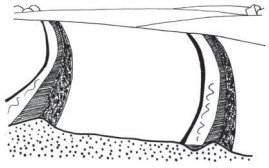
Hay varios tipos de aterrazado, y la elección de un tipo u otro depende de la pluviometría, la pendiente, el tipo de suelo, el cultivo y los materiales disponibles. Son estructuras económicas en su construcción y en su conservación.

CUADRO 6.5
Tipos de terrazas agrícolas

Tipo de terraza	Terrazas de drenaje o en pendiente	Terrazas a nivel
Función principal	Desagüe, desalojo del agua sobrante.	Absorción.
Tipo de suelo	Pesados con fuerte retención de agua o suelos poco profundos.	Profundos y ligeros o con un buen drenaje.
Pendiente longitudinal	De 0,1 a 0,5 %, sin superar el 1 % y con una longitud de la terraza no muy elevada.	Nula, trazado adaptado a las curvas de nivel.
Anchura de la terraza	No debe ser muy grande para evitar la infiltración o almacenaje de grandes volúmenes de agua.	Se construyen con anchuras amplias.

[.../...]

CUADRO 6.5 (CONT.)

Tipo de terraza	Terrazas de drenaje o en pendiente	Terrazas a nivel
Recomendaciones	Zonas con una precipitación anual mayor de 800 mm. El agua desalojada puede desembocar hacia un cauce empastado.	Zonas con precipitación anual menor de 800 mm. Pueden construirse enfundadas en un lomo para mejorar el almacenaje y con contrapendiente. Los cultivos implantados deben soportar el encharcamiento esporádico.
		

6.4. Drenajes y desagües

Cuando en una parcela hay un exceso de agua superficial o subterránea es necesario planificar y establecer algún sistema de drenaje que permita desaguar dicho excedente en un tiempo adecuado, evitando problemas de procesos de anaerobiosis en el suelo, de asfixia radical en el cultivo, de salinización por ascenso de sales por capilaridad, así como los procesos erosivos provocados por la escorrentía.

Los principales aspectos que conviene considerar a la hora de seleccionar la solución de drenaje adecuada son los volúmenes de agua sobrante, su origen (precipitación, escorrentía o riego), la estabilidad estructural y permeabilidad de los diferentes horizontes del perfil del suelo, la pendiente del terreno, el tipo de agricultura que se va a realizar y la forma y lugar del almacenamiento del agua desalojada.

RECURSO ELECTRÓNICO 6.1

En el anexo web 6.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los distintos sistemas de drenaje y desagüe (superficiales y subterráneos) en función de las necesidades y condiciones disponibles.

6.4.1. Trazado de la red de drenaje

Los diferentes tipos de drenes (canales, zanjas, bordos o tuberías) pueden construirse de tres formas: e*n paralelo* (en terrenos planos y uniformes), *en espina de pescado* (en terrenos de pendiente moderada o de topografía irregular) y l*ocalizado* (en terrenos ondulados, para drenar las depresiones).

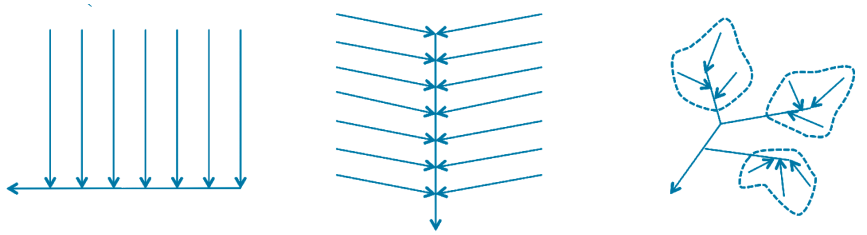


Figura 6.11
Trazados de redes de drenaje.

Según su trazado con respecto a las curvas de nivel, cada drene puede cumplirá con una función:

a) *Drenes de interceptación*: se instalan transversalmente a la línea de corriente para recoger el agua.
b) *Drenes de evacuación*: se colocan siguiendo la línea de corriente para conducir el agua a los colectores.

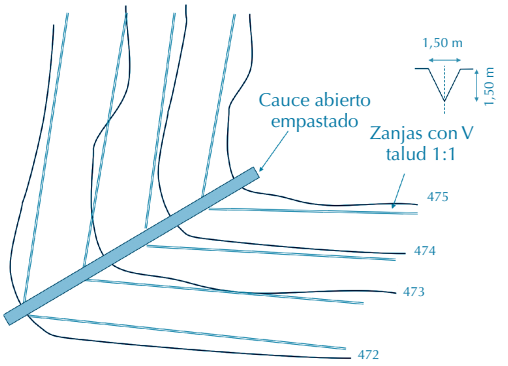


Figura 6.12
Ejemplo de red de drenaje.

Actividad propuesta 6.5

Observa el ejemplo de red de drenaje de la figura 6.12 y contesta las siguientes cuestiones:

a) ¿Qué clase de sistema de drenaje se representa en la figura y qué tipo de trazado tiene esa red de drenaje?
b) Identifica los drenes de interceptación y los de evacuación.
c) Suponiendo que la escala del plano es 1:1000, ¿cuál es la pendiente aproximada del cauce abierto? ¿Y de las zanjas?
d) ¿Cuál puede ser la razón de que se haya escogido el tipo de zanja que se indica en el plano?

6.5. Otras acciones para la conservación de suelos

Otras acciones que se han de considerar con el fin de evitar o limitar la erosión hídrica del suelo son las siguientes:

a) *Cultivo en contorno:* consiste en implantar el cultivo siguiendo las curvas de nivel del terreno. Es una práctica muy simple y eficaz para pendientes suaves (hasta el 3 %), pues cuando la ladera se va inclinando la capacidad de retención de agua en los surcos va disminuyendo.
b) *Muros de contención de hormigón:* son estructuras resistentes fabricadas generalmente en hormigón armado, para estabilizar y contener deslizamientos de gran magnitud. Son adecuados para el tratamiento de problemas graves de desestabilización de taludes.
c) *Muros de gaviones:* los gaviones son estructuras en piedra y malla de alambre galvanizado de alta resistencia, que se construyen directamente en campo. Se colocan unos junto o encima de otros y se unen entre sí, formando fachadas escalonadas. Actúan por su propia gravedad. Su función es estabilizar deslizamientos de considerable magnitud. Son muy adaptables y no precisan cimentación.

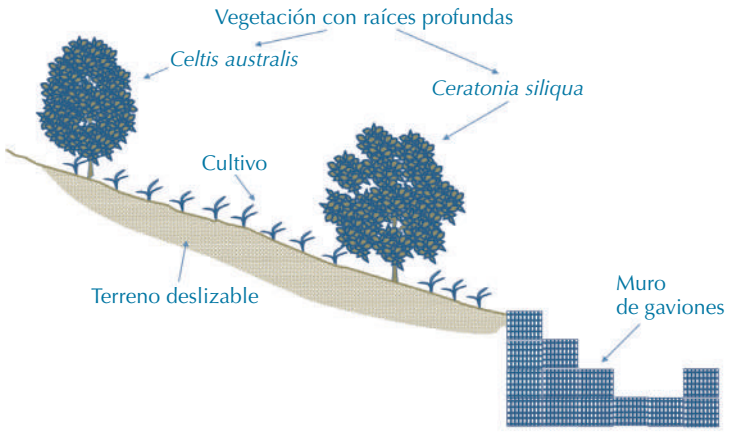


Figura 6.13
Combinación de diferentes técnicas en la estabilización de una ladera: establecimiento de barreras vivas y muro de contención con gaviones.

d) *Barreras vivas:* consisten en el establecimiento de vegetación de forma perpendicular a la pendiente (en contorno) con el objetivo de que las raíces reduzcan la velocidad de escorrentía y aumenten la sedimentación y la infiltración. Protegen de la sedimentación de obras estructurales como canales de desviación, zanjas de absorción y acequias de laderas. Se utilizan especies autóctonas y con raíces profundas como *Celtis australis* o *Ceratonia siliqua*.
e) *Diques para el control de cárcavas:* la estabilización de las cárcavas es necesaria para recuperar el suelo para el cultivo o, por lo menos, para reducir su crecimiento, ya que suponen una vía creciente de pérdida de suelo fértil y de agua debido a la erosión remontante. Además de reducir la escorrentía lateral que lleva a la formación de la cárcava, se puede actuar sobre ellas a lo largo de su eje longitudinal, construyendo diques filtrantes. Estos diques son más útiles cuanto más aguas arriba se sitúen. Pueden ser diques temporales o permanentes:

- *Diques temporales:* para cárcavas pequeñas (sección transversal en V), área de drenaje reducidas y velocidades de arrastre de menos de 1 m/s. Se construyen con ramas, troncos, mallas o tierra.
- *Diques permanentes:* para cárcavas medianas o grandes con áreas de drenaje mayores y velocidades del flujo de más de 1 m/s. Se construyen con piedra, mampostería o gaviones.

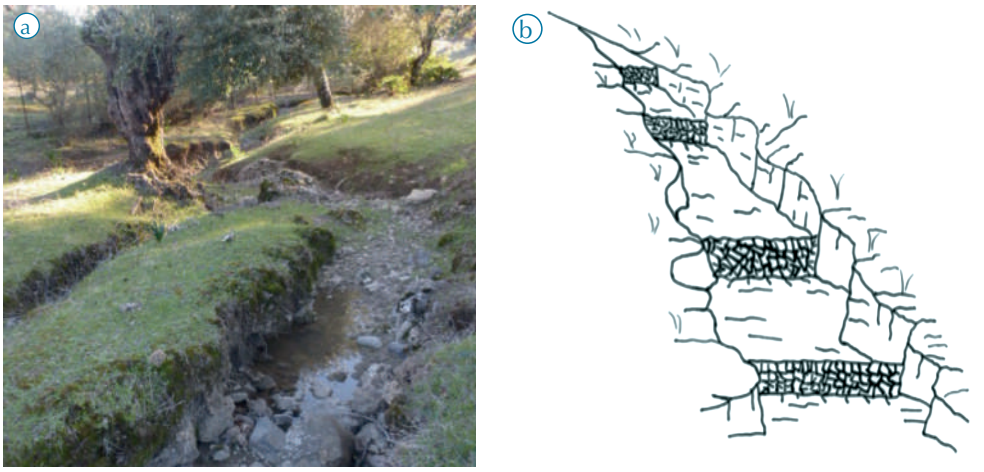


Figura 6.14
a) Cárcava en un campo de olivos;
b) Croquis de una posible estabilización con diques filtrantes.

6.6. El laboreo del suelo

El *laboreo* es el conjunto de manipulaciones mecánicas del terreno para acondicionarlo para el establecimiento y desarrollo del cultivo. Si no se realiza convenientemente, conlleva riesgos graves para el suelo a medio y largo plazo (cuadro 6.6).

CUADRO 6.6
Efectos positivos y negativos del laboreo sobre el suelo y los cultivos

Efectos positivos	Efectos negativos
– Acelera los procesos de formación de suelo. – Permite un buen control de la vegetación espontánea. – Permite incorporar abonos o enmiendas y conformar el terreno. – Favorece la infiltración de agua y disminuye la evaporación. – Facilita la germinación y el enraizamiento.	– Acelera la degradación de la estructura. – Puede aumentar la erosión. – Destruye las raíces superficiales. – Favorece la pérdida de materia orgánica. – Puede favorecer la formación de *suela de labor.* – Puede producir lesiones en troncos.

La estructura del suelo se destruye por acciones mecánicas, siendo el laboreo la causa principal de la destrucción mecánica de los agregados. Para evitarlo, en la medida de lo posible, deben respetarse las siguientes condiciones:

a) No labrar con una frecuencia excesiva.
b) Labrar con el suelo en tempero.
c) Evitar el uso de maquinaria muy pesada.
d) No labrar siempre a la misma profundidad, para evitar la aparición de una *suela de labor.*

e) Evitar voltear, respetando la posición de los distintos horizontes del suelo.

Recuerda

✓ El *tempero* del suelo es la condición de humedad intermedia entre el estado seco y el estado saturado, plástico o deformable. En tempero se puede trabajar la tierra sin que se quede pegada a la herramienta o apero y sin que se pulverice. Se llega al tempero tras un riego o lluvia abundante, de dos a cuatro días después (dependiendo del calor y la humedad ambiental). El suelo en tempero está húmedo, pero no se pega a los dedos al pellizcarlo.

6.6.1. Planificación del laboreo: programación y maquinaria

La planificación de los trabajos de laboreo debe tener en cuenta los objetivos que se persiguen, que varían en función del momento en que se realizan (cuadro 6.7).

Cuadro 6.7
Objetivos del laboreo para cada estación del año

Labor de otoño Principios de otoño, tras las primeras lluvias.	*Labor de invierno* Durante el invierno.	*Labor de primavera* Final del invierno, tras las primeras lluvias.	*Labor durante el periodo vegetativo* Final de primavera y verano.
Sep. – Oct.	Dic. – En.	Feb. – Mz.	Mz. – Ag.
– Mullir el suelo. – Descompactar el suelo tras el pisoteo de la recolección y los riegos de verano. – Facilitar la infiltración de las lluvias de otoño. – Eliminar la vegetación adventicia.	– Eliminar la vegetación adventicia. – Incorporar restos de poda. – Incorporar enmiendas orgánicas.	– Mullir el suelo. – Descompactar el suelo tras las lluvias y las heladas de invierno. – Facilitar la infiltración de las lluvias de primavera. – Eliminar la vegetación adventicia.	– Mullir el suelo. – Evitar la formación de costra superficial. – Facilitar infiltración de las lluvias de primavera.

Los diferentes objetivos del laboreo se consiguen desarrollando labores a diferentes profundidades, con mayor o menor desmenuzamiento, con volteo o no del suelo y con accionamiento o no por parte de la toma de fuerza (tdf) del tractor. Para cada caso, se utilizan aperos de labranza diferentes, tal y como se muestra en el cuadro 6.8.

CUADRO 6.8
Tipos de laboreo, objetivos y principales aperos utilizados

Labores profundas	Labores superficiales
PROFUNDIDAD	
30-40 cm para cultivos herbáceos o 50-100 cm en frutales (implantación).	20 cm de profundidad máxima.
OBJETIVOS	
– Esponjar el suelo en toda la profundidad de alcance de las raíces del próximo cultivo. – Romper horizontes, suelas de labor u otros horizontes endurecidos (Por ejemplo, petrocálcicos). – Enterrar paja, abonos distribuidos en superficie o residuos vegetales.	– Preparar camas de siembra. – Eliminar malas hierbas. – Evitar la formación de costra superficial. – Hacer caballones, cuadrores...
APEROS	
a) Aperos que no voltean el suelo: – Subsoladores. – Arados chisel (de cincel). *b)* Aperos que voltean el suelo: – Arados de vertedera. – Arados de disco.	*a)* Aperos accionados por la tdf del tractor: – Fresadoras. – Cavadoras. – Gradas accionadas. *b)* Aperos no accionados por la tdf del tractor: – Cultivadores. – Gradas de púas. – Gradas de discos. – Rulos o rodillos. – Azadas autoanimadas.

Los criterios que deben considerarse para planificar el laboreo del suelo son el tipo de cultivo, el clima, las características del suelo (textura, estructura, pedregosidad), la presencia de horizontes salinos y freáticos, impermeables o duros, la pendiente, el riesgo de erosión en general, el sistema de riego y el coste.

Ejercicio resuelto 6.4

Se quiere realizar un plan anual de trabajos de laboreo para el cultivo del almendro en secano en una localidad situada en el interior de la provincia de Valencia, indicando profundidades de trabajo, aperos y objetivos que se desea conseguir.

Teniendo en cuenta que en la zona hay un típico régimen pluviométrico mediterráneo con lluvias en otoño y primavera, las labores que habría que realizar serían las siguientes:

– En otoño, una labor profunda con arado chisel para favorecer la infiltración de las lluvias.

- En invierno, tras el cuajado de la flor, enterrando los abonos, más superficial (10-15 cm), con grada de disco.
- En primavera, para eliminar vegetación, realizar otra labor superficial (10-15 cm), con grada de disco.
- Durante el verano, si hay lluvias, se procede a hacer una bina (pasar dos veces las gradas).
- En todas ellas se deja alrededor del tronco un cerco sin labrar de 1,5 a 2 m, con objeto de no herir al tronco con los aperos.

Actividad propuesta 6.6

Consulta el documento enlazado en el QR adjunto e indica el calendario de labores para los siguientes cultivos, seleccionando para cada labor el apero que es preciso utilizar:

a) Cultivos herbáceos de invierno.
b) Olivo.

Sabías que...?

La mejor labor que se puede realizar en un suelo es la que llevan a cabo de forma natural las raíces de las plantas, ya que actúan no solo a nivel físico, sino también químico y biológico. Incluso las labores profundas que normalmente se realizan con el subsolador pueden sustituirse mediante el cultivo de plantas de enraizamiento profundo, tales como la alfalfa, que puede profundizar hasta cuatro metros, o la achicoria, que airean y mullen el suelo en profundidad mejor que cualquier maquinaria.

6.6.2. El laboreo de conservación

El *laboreo de conservación* comprende una serie de técnicas que tienen como finalidad evitar la erosión de los suelos y las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía, dejando cubierta la superficie del suelo con restos del cultivo anterior. Forma parte de lo que se denomina *agricultura de conservación*, que contempla, además, el uso de cubiertas vegetales, la rotación de cultivos, el cultivo a nivel y el manejo integrado de la fertilidad del suelo. Las condiciones generales de la práctica del laboreo de conservación son:

1. Se reducen al mínimo las labores y no se utilizan nunca aperos que volteen el suelo. Se pueden realizar laboreos superficiales con aperos como los cultivadores.
2. Se mantiene la superficie del suelo cubierta, con materiales vegetales vivos o muertos, hasta el siguiente cultivo. Se trituran y distribuyen los restos no recogidos de la cosecha, dejando el suelo cubierto entre el 30 % y el 70 %. Los restos no se incorporan al suelo, ni tampoco se queman.
3. Se realiza siembra directa.

Las formas de laboreo de conservación son:

a) *Laboreo reducido:*

- Frecuencia reducida de laboreo.
- Se devuelven al suelo los residuos de cosechas de entre el 5 y el 25 % de la superficie de cultivo.

b) *Laboreo mínimo:*

- Laboreo al mínimo posible.
- Se aportan al suelo los residuos de cosecha de entre el 30 y el 50 % de la superficie total.

c) *No cultivo con uso de herbicidas:*

- El control de la vegetación espontánea se realiza con herbicidas de bajo impacto ambiental. No se labra el suelo. Con ello se consigue una mejor estructura del suelo, pero no es apropiado en secano. Hay riesgo de formación de costra superficial, se puede producir contaminación por los herbicidas utilizados y no es adecuado para plantaciones jóvenes.

d) *Cultivo con cubiertas vegetales:*

- El suelo se mantiene cubierto de vegetación. No se labra el suelo, se siega la hierba. Es el método más ecológico y que más respeta la estructura del suelo, pero favorece el riesgo de heladas y es difícil de implementar en secano y en plantaciones jóvenes.

e) *Técnicas mixtas de mantenimiento:*

- Se realizan labores entre líneas, dejando el ruedo de los árboles con cubierta vegetal o utilizando herbicidas o acolchado. Combina ventajas e inconvenientes de las técnicas anteriores.

6.7. Manejo de la vegetación espontánea

La *vegetación espontánea, arvense o adventicia* se compone de todas aquellas especies que se instalan en una parcela de cultivo, o en sus márgenes, sin la intervención directa del agricultor. Su presencia plantea problemas de competencia de agua y nutrientes con el cultivo, ocupación del espacio, etc. Desde el punto de vista agroecológico, el manejo de este tipo de vegetación no tiene como finalidad su completa erradicación, sino crear un equilibrio entre ella y el cultivo, aprovechando los efectos beneficiosos derivados del aumento de la biodiversidad y de la mejora en la protección del suelo.

Los métodos que existen para el control de la vegetación espontánea son:

a) *Escarda manual:* se realiza con azadas, azadillas o escardadoras. Apropiada solo en superficies pequeñas.

b) *Escarda mecánica*: se arranca y fragmenta la vegetación no deseada, antes de la siembra o plantación, o entrelíneas cuando el cultivo está establecido. Se realiza con gradas de varillas flexibles o cultivadores. No afecta a las especies perennes (bulbosas o rizomatosas).
c) *Siega:* se corta la vegetación a cierta altura del suelo. Se realiza con desbrozadoras manuales o acopladas al tractor. No afecta a las especies perennes o de porte rastrero.
d) *Piroescarda:* se utilizan quemadores de propano de llama directa o con placas cerámicas que emiten radiación infrarroja. Se utiliza para eliminar vegetación en sus primeros estadios de crecimiento. Incompatible con riego por goteo.
e) *Métodos químicos:* consiste en el uso de herbicidas totales o selectivos, residuales (de suelo) o foliares (de hojas), de contacto o sistémicos, así como de presiembra, preemergencia o posemergencia. Todos ellos presentan el inconveniente de ser sustancias de síntesis que se acumulan en el suelo, afectando al equilibrio entre los organismos.
f) *Solarización:* se eleva la temperatura del suelo a más de 40 °C, bajo una cubierta plástica transparente, durante 30 a 45 días. Se realiza con el suelo húmedo para mejorar la transmisión de calor, y aumenta su eficacia si se realiza con aporte de estiércol, que libera compuestos volátiles biotóxicos.
g) *Rotación de cultivos:* tanto en hortícolas como en herbáceos extensivos, es la medida más eficiente para el control preventivo, ya que cada especie cultivada tiene unas especies acompañantes. Este método es tanto más efectivo cuantas más especies diferentes tenga la rotación.
h) *Pastoreo con ganado o siega a diente:* principalmente con ganado ovino y equino. En ocasiones, en plantaciones de cultivos leñosos se utilizan gallinas.
i) *Utilización de variedades adaptadas*: las variedades tradicionales, especialmente en cultivos hortícolas y herbáceos extensivos, tienen una mayor capacidad de competir con la vegetación espontánea, al contar con un elevado vigor de germinación.
j) *Aumento de la densidad de siembra:* evitando dejar espacio libre, pero sin llegar a niveles que impliquen competencia en el mismo cultivo.
k) *Falsa siembra*: se crean las condiciones para que tenga lugar la germinación (laboreo del suelo, riego...), y una vez que la vegetación espontánea nace, es eliminada en estado de plántula. A continuación tiene lugar la verdadera siembra del cultivo, que de forma general se trata de plantas hortícolas.
l) *Acolchado o mulching:* se cubre la superficie del suelo para impedir la proliferación de vegetación espontánea con cubiertas artificiales a base de plásticos, u orgánicas, con paja u otro tipo de restos.

6.8. Corrección y recuperación de suelos

En ocasiones, es necesario aplicar técnicas de corrección de las propiedades químicas de los suelos con el fin de mejorar su respuesta agronómica y preservarlos de la erosión.

6.8.1. Corrección de suelos ácidos

En España los suelos ácidos suponen el 40 % de la superficie total de suelos, encontrándose sobre todo en regiones lluviosas y en zonas donde la roca madre es de carácter ácido. También

pueden volverse ácidos aquellos suelos que sufren un aporte de fertilizantes nitrogenados y azufrados en exceso, y en zonas con lluvia ácida.

Como se ha visto en el capítulo 3, la mayoría de las plantas cultivadas se desarrollan de forma óptima en condiciones de pH próximas a la neutralidad (6,5-7,5), soportando mejor las condiciones ácidas. Los problemas más importantes que presenta la acidez en los suelos son por toxicidad del Al y el Mn, y por carencia de Ca, P y Mo. Además, sufren una inhibición en la actividad microbiana del suelo que interviene en la humificación, la mineralización y la fijación de N.

Para conseguir el aumento de pH en un suelo, pueden incorporarse diferentes tipos de enmiendas calizas en el mismo.

CUADRO 6.9
Principales productos utilizados como enmiendas calizas y su factor de neutralización (Fn)

Enmienda	Símbolo	Factor de neutralización (Fn)
Cal viva	CAO	1,8
Cal apagada	$Ca(OH)_2$	1,4
Dolomita	$CaCO_3$, $MgCO_3$	1,1
Carbonato cálcico (caliza)	$CaCO_3$	1,0
Silicato cálcico		0,86

Las cantidades de carbonato cálcico (caliza) necesarias para aumentar una unidad de pH en una profundidad de 15 cm son, aproximadamente, las que se detallan en el cuadro 6.10.

CUADRO 6.10
Kilogramos de carbonato cálcico (caliza) por hectárea necesarios para elevar el pH en una profundidad de 15 cm

	De 4,5 a 5,5	De 5,5 a 6,5
Suelos arenosos	1500	2250
Suelos francos	2000	3000
Suelos limosos	2750	3750
Suelos arcillosos	3500	4250

Fuente: Urbano, P., 1999.

Se utilizan cantidades proporcionales a las obtenidas en el cuadro 6.10 cuando el valor de pH que se quiere modificar sea diferente a una unidad de pH y la profundidad del suelo sea diferente. Si se utilizan productos diferentes a la caliza, la cantidad que se debe aplicar se obtiene dividiendo la cantidad calculada por el factor de neutralización (Fn) (que puede consultarse en el cuadro 6.9):

$$\text{kg/ha de enmienda} = \frac{\text{kg/ha de caliza}}{\text{Fn}}$$

Hay ciertas consideraciones que deben tenerse en cuenta en la aplicación de enmiendas calizas:

1. Si las necesidades de enmienda son elevadas, es conveniente fraccionar su aporte en varios años. En general, no es recomendable superar una unidad de pH aplicando la enmienda de una sola vez, para evitar bloqueo de nutrientes y mineralización muy rápida de la materia orgánica.
2. Los encalados se aplican cuando el cultivo no está presente, evitando épocas lluviosas o con suelos muy mojados.
3. Para encalados con cal viva, debe encalarse uno o dos meses antes de la siembra para evitar la acción cáustica de la cal sobre las semillas. Para encalados con caliza (que no tiene efectos corrosivos), conviene encalar tres meses antes del cultivo, dado su acción más lenta. Para encalados con dolomitas, se aconseja actuar entre los tres y los seis meses antes de la siembra. Los silicatos de calcio se utilizan muy poco por su lentitud de acción.
4. Todos los productos que se utilicen tienen que ajustarse a los tipos, características y especificaciones del anexo I del RD 999/2017.

Con respecto a la distribución, en el caso de la cal viva es preciso apagarla antes de enterrarla, depositándola en la superficie para que actúe sobre ella la humedad atmosférica. En el caso de emplear cal apagada o caliza puede hacerse la aplicación mediante remolques o camiones distribuidores. Una vez que se ha aplicado la enmienda, se procede a enterrarla a unos 15-20 cm con un cultivador o una grada de discos.

Las enmiendas calizas no se mezclan ni con estiércoles ni con fertilizantes minerales, debido al riesgo de volatilización o precipitación en formas no asimilables.

Ejercicio resuelto 6.5

Planifica las acciones necesarias para elevar el pH de un suelo franco desde 4,5 a 6,5 en sus primeros 30 cm de profundidad utilizando cal apagada. La parcela mide 5000 m^2.

Se realizarán los aportes en dos años: en el primero, el objetivo es elevar el pH de 4,5 a 5,5 y, en el segundo año, elevarlo de 5,5 a 6,5.

- Primer año: las cantidades de caliza que habrá que aportar serán de 2000 kg/ha para 15 cm, y el doble para 30 cm (4000 kg/ha). Como se va a utilizar cal apagada en vez de caliza, ha de corregirse la cantidad en función del factor de neutralización:

  kg/ha de cal apagada = kg/ha de caliza /Fn de la cal apagada

  ⇒ kg/ha de cal apagada = 4000 / 1,4 = 2857 kg/ha.

  Para 5000 m^2 la cantidad que habrá que aportar será de 1428,5 kg de cal apagada.
- Segundo año: cantidad de caliza que habrá que aportar para 15 cm: 3000 kg/ha ⇒ para 30 cm: 6000 kg /ha

Fn de cal apagada = 1,4 ⇒ kg/ha de cal apagada = 6000/1,4 = = 4286 kg/ha

Para 5000 m² la cantidad que habrá que aportar será de 2143 kg de cal apagada.

Los aportes se realizarán mediante un remolque y se enterrarán 30 cm con un apero volteador, como una grada de discos, a suelo desnudo, preferentemente en otoño o primavera, cuando el suelo no esté mojado.

6.8.2. Rehabilitación de suelos salinos

A los suelos que presentan problemas de salinización se les conoce como suelos *halomórficos*. Se forman en zonas áridas o semiáridas, con escasez de precipitaciones y una elevada evapotranspiración. Suelen presentar un mal drenaje natural y han recibido, o reciben, un exceso de sales solubles que impiden el normal desarrollo de las plantas. El principal catión responsable de estos problemas es el sodio (Na^+). Pueden distinguirse los siguientes tipos de suelos: normal, salino, sódico y salino-sódico, tal y como se recoge en el cuadro 6.11.

CUADRO 6.11
Clasificación de los suelos según su CE_{es} y PSI, características y tratamientos recomendados

Tipo	CE_{es} dS/m	PSI = Na / CIC	Características del suelo	Tratamientos recomendados
Normal	< 4	< 15 %	Sin problemas de salinidad o de sodicidad.	Ninguno
Salino	> 4	< 15 %	El pH suele ser básico, aunque menor de 8,5. Debido a sus elevados contenidos en bases y a la ausencia relativa de Na, suelen ser suelos sin problemas de estructura y permeabilidad similar a suelos no salinos.	Lavado de sales
Sódico	< 4	> 15 %	Suelos con muchos problemas de estructura, encharcamiento y asfixia radicular. La materia orgánica se dispersa y precipita formando unas características manchas negras. El pH suele ser de 9 o 10, lo que favorece la precipitación de carbonatos de Ca y Mg. Suelen presentar un horizonte de acumulación de arcilla por debajo de un horizonte superficial arenoso. Aunque el contenido en sales no sea muy elevado, está desequilibrado y dominan los cloruros, sulfatos y bicarbonatos de sodio.	Intercambio de Na por Ca + lavado

[.../...]

CUADRO 6.11 (CONT.)

Tipo	CE_{es} dS/m	PSI = Na /CIC	Características del suelo	Tratamientos recomendados
Salino-sódico	> 4	> 15 %	El pH suele ser cercano a 8,5. Presentan los problemas de los suelos sódicos, agravados por la elevada concentración de sales totales.	Intercambio de Na por Ca + lavados frecuentes

PSI = Porcentaje de sodio intercambiable; CIC = Capacidad de cambio catiónico.
Nota: Es mejor considerar un valor del 10 % de PSI, en vez del 15 % para no perjudicar el rendimiento económico del cultivo.

Como se ha visto en capítulos anteriores, estos suelos pueden mejorar su condición mediante diferentes acciones.

A) Lavado de sales

El lavado con agua arrastra las sales hacia abajo. Para conseguir el lavado en suelos de secano, se debe asegurar una infiltración del agua de lluvia lo más elevada posible, mejorando las propiedades físicas del suelo, incrementando el tiempo de contacto del agua de lluvia con su superficie mediante la construcción de terrazas de absorción, y disminuyendo o eliminando la escorrentía con labores adecuadas y manteniendo una cobertura vegetal.

En regadío, además de regar con una fracción de lavado, en la gran mayoría de los casos, es necesario extraer artificialmente el agua que se ha infiltrado en el suelo mediante drenaje subterráneo, para evitar que ascienda el nivel freático de la zona, que aportaría nuevas sales al suelo.

RECURSO WWW

La FAO ha desarrollado una amplia experimentación en las marismas del Guadalquivir, zona que alberga el mayor número de hectáreas afectadas por salinidad de toda España. Se instaló un sistema de drenes subterráneos (drenes topo), los cuales se conectaron a unas zanjas de desagüe, abiertas por otras máquinas, y estas se conectaron a unos grandes canales que se vertieron al mar. Puedes consultar toda la documentación sobre las actuaciones llevadas a cabo a través del código QR adjunto.

B) Intercambio de sodio por calcio

La finalidad es intercambiar el Na^+ adsorbido en el complejo de cambio por Ca^{2+}, para posteriormente eliminar los cationes de Na liberados mediante lavados. De esta forma, pueden

volver a formarse los puentes de Ca en el complejo arcillo-húmico, estabilizando la estructura, rebajando el pH y mejorando la permeabilidad del suelo. Este método se usa en suelos con pH básicos.

Para disminuir la cantidad de iones sodio en el suelo hasta un valor aceptable, debe rebajarse el valor de un PSI del suelo inicial (PSI_i) hasta llegar a un PSI final (PSI_f). La cantidad de sodio que hay que desplazar se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Sodio que hay que desplazar (meq/100g)} = [Na^+]_i - [Na^+]_f = (PSI_i - PSI_f) \cdot CIC/100$$

Los productos que se aportan al suelo con este fin pueden agruparse en los siguientes casos, tal y como se recoge en el cuadro 6.12:

CUADRO 6.12
Tipos de productos que se utilizan como enmiendas para suelos salinos

Productos que aportan Ca en formas más o menos solubles	Productos ácidos o generadores de ácidos	Productos mixtos (ácidos + calcio soluble)	Productos que aportan calcio poco soluble
– Cloruro cálcico: Cl_2Ca – Yeso: $SO_4Ca_2H_2O$	– Azufre: S – Ácido sulfúrico: SO_4H_2 – Ácidos fúlvicos	– Polisulfuro de calcio: S_5Ca	– Caliza: CO_3Ca – Dolomita: CO_3CaCO_3 Mg – Subproductos de la industria azucarera.

Fuente: Urbano, P., 1999.

La cantidad de producto que es preciso emplear por hectárea para desplazar un meq de Na^+ en un suelo de una densidad media es, para los siguientes productos, de:

- Yeso: 4500 kg/ha
- Cloruro cálcico: 2200 kg /ha
- Azufre: 640 kg/ha
- Polisulfuro de calcio: 2650 kg/ha
- Caliza: 2000 kg/ha

Es importante destacar que la adición de materia orgánica en suelos salinos puede acelerar el lavado de Na, disminuir el PSI y la CE, así como incrementar la infiltración y la capacidad de retención de agua a través de la mejora de la estructura.

Ejercicio resuelto 6.6

Una parcela de 3500 m^2 presenta un PSI del 17 %, CE_{es} = 5,2 dS/m y CIC = 25 meq/100 g. Se quiere rehabilitar hasta llegar a un PSI del 15 % utilizando yeso. Planifica y describe las actuaciones que habría que realizar para lograrlo.

Se trata de un suelo salino-sódico, ya que el PSI es mayor de 15 % y la CE_{es} es mayor de 4 dS/m. Para rehabilitar este suelo se deben liberar los iones de Na aportando yeso (sulfato de calcio hidratado) para después proceder a su lavado.

El sodio que se quiere desplazar, en meq/100 g = (PSIi – PSIf) × CIC/100 = (17 – 15) × × 25/100 = 0,5 meq/100 g.

La cantidad de yeso que hay que aportar para desplazar 1 meq/100g de Na es de 4500 kg/ha, luego para desplazar 0,5 meq/100 g, será de 2500 kg/ha.

En una superficie de 3500 m^2 ⇒ 2500 × 3500/10 000 = 875 kg de yeso.

Se aportará la cantidad de yeso indicada, incorporándola al suelo en los primeros 20 cm y, posteriormente, se realizarán lavados intensos para eliminar el sodio por percolación. Convendrá realizar controles del PSI tras unos meses para comprobar el efecto de los tratamientos. Se intentará mejorar, asimismo, el nivel de materia orgánica del suelo para acelerar el lavado de Na.

Actividad propuesta 6.7

Calcula la cantidad de caliza que hay que adicionar para la rehabilitación de una parcela de 2 ha con suelo salino-sódico, CIC = 20 meq/100 g y PSI=18 %, para reducir este valor a 15 %. Indica y describe las acciones que es preciso realizar en el terreno.

C) Rehabilitación de suelos contaminados

La *contaminación del suelo* consiste en una acumulación de sustancias tóxicas que provoca la pérdida parcial o total de su productividad.

El suelo es un sistema complejo y dinámico donde se producen distintas reacciones (oxidación, reducción, precipitación, quelación, hidrólisis, etc.), que ayudan a neutralizar contaminantes que en otro medio como el agua o el aire podrían ser dañinos. Cuando se producen problemas por contaminación en el suelo, es debido a que se ha superado su capacidad de amortiguación, bien por exceso de contaminantes o bien por disminución de la presencia de humus, que es la base de la mayoría de las reacciones protectoras.

Las actividades que más sustancias tóxicas liberan al suelo son, principalmente, las industriales, pero también las mineras, agrícolas y ganaderas, provocando su acumulación en mayor cantidad o en formas más solubles y biodisponibles, afectando a la actividad biológica.

Los principales tóxicos acumulados en el suelo debido a las actividades humanas son:

- Metales pesados como el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el cadmio (Cd).
- Otros elementos inorgánicos no metálicos, como arsénico (As) o cianuro (CN^-).
- Contaminantes orgánicos persistentes: plaguicidas, herbicidas, desinfectantes del suelo, dioxinas, PCB, etc.
- Hidrocarburos derivados del petróleo (benceno, tolueno, xileno y etilbenceno).

Las tecnologías para prevenir o remediar la contaminación de suelos están todavía poco desarrolladas. Los métodos para la descontaminación *in situ* (sin transportar el suelo) se pueden agrupar en:

a) *Tratamientos fisicoquímicos:*

- *La extracción por aire:* se volatilizan los contaminantes y se extraen mediante corrientes de aire.
- *El* flushing*:* mediante agua inyectada o infiltrada, se transporta y extrae el contaminante.
- *La adición de enmiendas calizas, orgánicas, zeolitas u óxidos de hierro:* aceleran la inmovilización de metales tóxicos.

b) *Tratamientos biológicos (biorrecuperación o biorremediación).* Utilizan bacterias, hongos o plantas para descontaminar el medio ambiente. Son tecnologías más sencillas, económicas y respetuosas que los tratamientos fisicoquímicos. Como ejemplos, cabe citar:

- *La biodegradación asistida:* se estimulan los microorganismos del suelo ya presentes, o inoculados, mediante la circulación de soluciones ricas en nutrientes y oxígeno.
- *La fitorrecuperación:* consiste en cultivar ciertas especies vegetales resistentes a suelos contaminados y que acumulan en sus tejidos, inmovilizan o transforman las sustancias contaminantes. Por ejemplo, se utilizan especies como *Brassica juncea, Phragmites australis* o *Nicotiana glauca* para la extracción de metales pesados.

Resumen

- Actualmente hay disponibles diferentes tecnologías para la representación del terreno, que ayudan a su correcta planificación y manejo. Algunas prácticas agrícolas, desafortunadamente frecuentes, como el cultivo intensivo, la deforestación, los cultivos en laderas muy pronunciadas, la escasa utilización de técnicas de conservación del suelo y de fertilizantes orgánicos, etc., facilitan la erosión del suelo, y en consecuencia, su degradación. En este capítulo se integran los criterios ecológicos más importantes aprendidos en capítulos anteriores para completar la visión del manejo del suelo como un recurso valioso, dinámico y frágil. El cultivo en bancales, las terrazas y el laboreo de conservación son técnicas que ayudan a evitar pérdidas de suelo por erosión hídrica. El manejo adecuado de la vegetación espontánea favorece asimismo la estabilidad del suelo y su conservación. La rehabilitación de suelos con características extremas de salinidad y acidez, así como la descontaminación de suelos intoxicados ayudan a recuperar el equilibrio del suelo y su potencial productivo y ambiental.

Supuesto práctico

a) Planifica las acciones que deben realizarse para elevar el pH de 5 a 6 de una parcela de 7500 m^2 con suelo arcilloso en sus primeros 25 cm de profundidad, utilizando cal viva. Programa en el tiempo las operaciones indicadas.

b) Realiza la planificación anterior suponiendo que se utilizan dolomitas.

c) Busca en Internet los precios aproximados de las enmiendas que se quiere aportar en ambos casos, así como los costes de los tratamientos que se prevé realizar.

Actividades de autoevaluación

1. Una ladera con un desnivel de 40 m y una distancia reducida de 150 m tiene una pendiente del:
   - ☐ *a)* 75 %.
   - ☐ *b)* 37,5 %.
   - ☐ *c)* 14,9 º.
   - ☐ *d)* 27 %

2. El factor R de la *ecuación de pérdidas de suelo:*
   - ☐ *a)* Es el índice de erosión pluvial o de erosividad de la lluvia.
   - ☐ *b)* Es el índice de erosionabilidad del suelo.
   - ☐ *c)* Aumenta al disminuir la materia orgánica del suelo.
   - ☐ *d)* Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

3. Las terrazas de cultivo:
   - ☐ *a)* Son más adecuadas que los bancales para pendientes del terreno muy acusadas.
   - ☐ *b)* Son más caras de construir que el abancalado.
   - ☐ *c)* No anulan la pendiente original del terreno.
   - ☐ *d)* Solo son adecuadas en suelos profundos y ligeros.

4. Las enmiendas calizas:
   - ☐ *a)* Es preferible aplicarlas con estiércol.
   - ☐ *b)* Se pueden aplicar para alcanzar valores de pH próximos a 7,5.

☐ *c)* Se entierran unos 20 cm con una grada de discos o similar.
☐ *d)* Se aplican con el suelo muy húmedo.

5. Son productos que se emplean como enmiendas para rehabilitar suelos sódicos:
   ☐ *a)* Yeso.
   ☐ *b)* Cloruro potásico.
   ☐ *c)* Azufre.
   ☐ *d)* Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

SOLUCIONES:

1. a b **c** **d** **3.** a b **c** d **5.** **a** b **c** d
2. a **b** **c** d **4.** a b **c** d

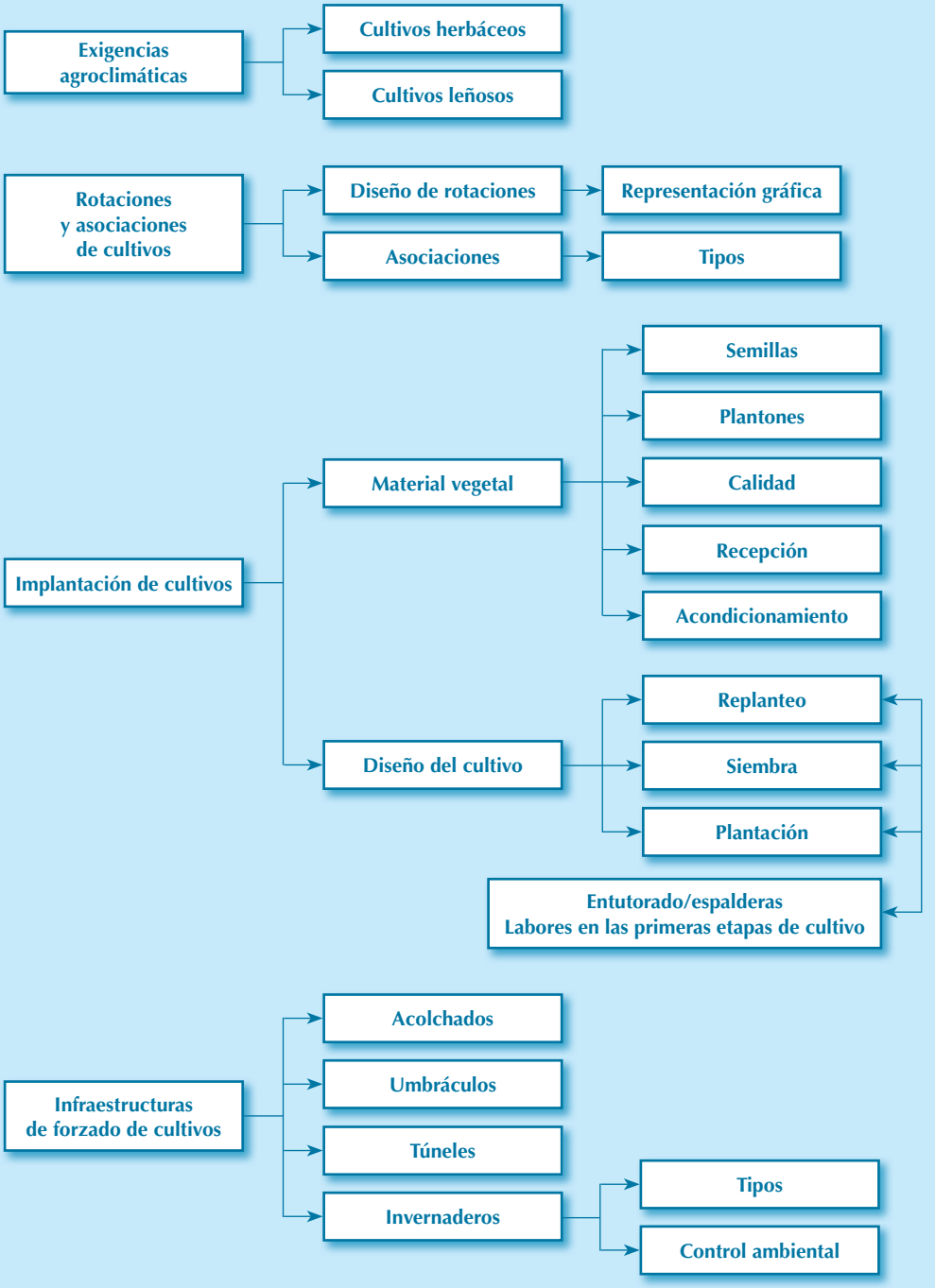
7

Implantación del cultivo

Objetivos

- ✓ Identificar las necesidades agroclimáticas de los principales cultivos.
- ✓ Determinar los cultivos, alternativas, rotaciones, asociaciones y policultivos que se van a implantar.
- ✓ Organizar y representar las rotaciones y asociaciones seleccionadas.
- ✓ Aplicar las técnicas para la recepción, acondicionamiento e implantación del material reproductivo y los cuidados posteriores a la siembra y plantación.
- ✓ Realizar el diseño de un cultivo teniendo en cuenta los marcos de plantación.
- ✓ Conocer las infraestructuras de forzado de cultivos, sus tipos y características.
- ✓ Seleccionar los métodos de control ambiental en invernaderos, aplicando criterios técnicos y de sostenibilidad.

Mapa conceptual



Glosario

Banco de germoplasma. Colección de material reproductivo vegetal vivo (semillas, esporas, tubérculos, raíces…) cuyo objetivo es localizar, recolectar y conservar plantas consideradas de interés para la sociedad.

Erosión genética. Pérdida de biodiversidad en la agricultura, acentuada en los años 1940-1950, con la aparición de variedades comerciales uniformes y adaptadas a las técnicas de cultivo intensivo y a los sistemas de comercialización.

Franqueamiento. Fenómeno que se produce si la variedad injertada en un patrón desarrolla sus propias raíces, lo que a la larga supone la anulación del portainjertos.

Materiales de multiplicación. Semillas y partes de plantas, incluidos los portainjertos, destinados a la multiplicación y producción de especies y variedades de cultivo.

Patrón franco. Planta sobre la que se realiza un injerto y la cual es procedente de semilla de la misma especie que se injerta.

Rastrojo. Conjunto de restos de las plantas que quedan en el terreno tras recolectar un cultivo y antes de recibir el nuevo.

Recursos fitogenéticos. Diversidad genética correspondiente al mundo vegetal que se considera poseedora de un valor real o potencial para el presente o el futuro.

Variedad cultivada o cultivar. Población de plantas mejorada genéticamente para su cultivo y que puede ser identificada por mostrar caracteres diferentes a otros individuos de su misma especie.

7.1. Introducción

Las agricultoras y agricultores han llevado a cabo un proceso de selección sobre los cultivos desde el inicio de la agricultura, hace más de diez mil años. Como resultado de este proceso, se han generado una serie de variedades locales, adaptadas a diferentes condiciones agroclimáticas, ya sea de temperaturas extremas, sequía, plagas y enfermedades, etc. Por otro lado, la investigación y el desarrollo de tecnologías en mejora genética han creado nuevas variedades mejoradas, adaptadas a la agricultura intensiva, muy orientadas a la productividad y a las exigencias comerciales (recolección, transporte, almacenamiento…). Desde mitad del siglo pasado, se ha producido un amplio uso de estas variedades, en detrimento de las variedades locales tradicionales, con la consecuente *erosión genétic*a. Esto supone un problema por la pérdida irreversible de recursos genéticos que podrían servir como respuesta a cambios ambientales o la aparición de nuevas plagas y enfermedades. La diversidad en las zonas agrícolas es necesaria para mantener el sistema más estable, más fuerte ante plagas y enfermedades y más seguro en el suministro de cosechas. En el

caso de los agroecosistemas, la biodiversidad pasa por el uso de diferentes especies y cultivares, así como por el uso de especies acompañantes a los cultivos, como árboles de márgenes o setos.

Conocer las características de los grupos varietales y las variedades disponibles para cada especie de cultivo es muy importante para seleccionar el material vegetal concreto que se adapte a los condicionantes particulares del medio y de la comercialización.

7.1.1. Necesidades de los cultivos herbáceos

Los cultivos herbáceos están ampliamente distribuidos en todo el planeta, y son la base de la alimentación tanto humana como animal. Muchos de ellos se utilizan en la industria para obtener fibras, aceites o medicinas, entre otros. Las variedades de cada uno de ellos son innumerables, predominando en la actualidad el cultivo de las variedades mejoradas y más comerciales.

A) Cereales

La adaptabilidad de los *cereales* a diferentes suelos y condiciones climáticas ha permitido su amplia distribución geográfica, siendo por ello los principales cultivos destinados a la alimentación mundial.

1. Cereales de invierno

Se siembran en otoño o invierno y se cosechan entre primavera y verano, en función del ciclo de la variedad y las temperaturas de la zona de cultivo.

La exposición al frío de los cereales de invierno hace que se produzca el *ahijamiento* o formación de brotes axilares, que se alargan durante la fase de *encañado*. Al finalizar el alargamiento del tallo, se forma la espiga quedando envuelta en la última hoja, esta es la fase de e*spigado*. La siguiente etapa es la *floración*, en la que se abren las flores y se produce la polinización y el cuajado. La *maduración* del grano es la última etapa.

Al igual que soportan las bajas temperaturas, los cereales también soportan altas temperaturas, que favorecen el proceso de secado de los granos. Sin embargo, cuando las altas temperaturas van acompañadas de vientos secos se produce el *asurado* o arrugamiento del grano, como consecuencia de una elevada transpiración de la planta.

Los cereales resisten la sequía, pero la deficiencia de agua en determinados momentos condiciona el rendimiento de la cosecha. Son especies bastantes rústicas respecto a suelos, aunque las producciones mejoran en suelos fértiles y de buena textura.

El *trigo* se adapta a una gran variedad de climas; son ideales las zonas que tienen una estación de crecimiento fresca y húmeda seguida de otra cálida y seca para la maduración. Sus mayores necesidades de agua son durante la fase de desarrollo de la espiga y en la fase inicial de formación del grano.

Las necesidades hídricas y nutritivas de la *cebada* son más importantes al comienzo del ciclo, y las necesidades críticas de agua se producen al final de la fase de espigado. Se adapta a las zonas de poca lluvia en primavera.

El *centeno* y la *avena* tienen un área de cultivo similar a la del trigo y la cebada. El centeno está mejor adaptado a los climas fríos.

El trigo y la cebada tienen mejores rendimientos en suelos arcillo limosos o arcillosos bien provistos de calcio. En terrenos ligeros, al no almacenar suficiente humedad, suelen padecer deficiencias nutricionales y problemas de estrés hídrico en el periodo de maduración del grano. Tanto el centeno como la avena son cultivos de suelos pobres y poco fértiles.

El nitrógeno es el elemento mineral de mayor influencia en el rendimiento de los cereales. El potasio también es muy importante al estar relacionado con el valor panadero del trigo y el valor cervecero de la cebada. La mayor absorción de ambos se produce durante el encañado. Es común aplicar una pequeña aportación de nitrógeno antes o durante la siembra, junto a la semilla, para conseguir un efecto de "arranque" o *starter*, sobre todo en siembras tardías, suelos pobres o tras cultivos exigentes.

2. Cereales de primavera

El *maíz* necesita temperaturas entre 18 y 20 °C para germinar y temperaturas medias diarias mayores de 15 °C. Este cultivo requiere de suelos con buen drenaje, aunque con buena capacidad de retención de agua, por tanto, prefiere suelos de textura media, ya que es sensible a la asfixia radicular. Prefiere suelos con pH entre 7 y 8. Los nutrientes demandados en el maíz son mayores que en otros cereales, debido a su mayor producción. Otra particularidad de este cultivo es que puede absorber nitrógeno tanto en estado nítrico como amoniacal. Es común aplicar entorno a ⅓ de las necesidades de N en fondo y el resto en una o dos aplicaciones en cobertera. Se recomienda picar y enterrar las cañas tras la recolección para restituir gran parte de los nutrientes extraídos.

El *arroz* puede crecer en suelos inundados. Para evitar la asfixia radicular, la planta de arroz posee unos tejidos especiales que forman un sistema para el paso de aire. Para germinar necesita un mínimo de temperaturas entre 10 y 13 °C. La temperatura óptima de crecimiento del arroz está en torno a los 23 °C. Para la floración se necesita un mínimo de 15 °C, siendo 30 °C el óptimo. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media. Prefiere suelos con un pH en torno al 6,5.

Ambos cultivos son muy exigentes en agua, sobre todo en torno a la floración, cuando también se producen los mayores requerimientos nutricionales.

Recurso WWW

En la página web del *Grupo para la evaluación de nuevas variedades de cultivos extensivos en España*, a la que puedes acceder a través del QR adjunto, puedes consultar las fichas de las diferentes variedades comerciales de cereales, con datos referentes a su morfología, ciclo, producción, comportamiento frente a enfermedades, calidad del grano y recomendaciones de cultivo.

B) Leguminosas

Las leguminosas herbáceas se pueden dividir en leguminosas de grano, leguminosas hortícolas, leguminosas forrajeras y leguminosas pascícolas. Algunas de ellas se cultivan en zonas semiáridas y tradicionalmente han sido utilizadas como plantas de barbecho en el secano, como

las *vezas* y los *yeros* (de consumo animal) o *lentejas* y *garbanzos* (de consumo humano). Se puede distinguir entre leguminosas de siembra otoñal y de siembra primaveral, lo que depende de su resistencia al frío. En zonas donde las lluvias otoñales son más habituales, se pueden dar mayores producciones con las siembras de esta época.

En general, las leguminosas se adaptan a diversas condiciones de clima y suelo. Son plantas insustituibles en las alternativas, por su capacidad fijadora de nitrógeno atmosférico. Pueden cultivarse en un rango de pH de 5,5 a 8.

En la mayoría de los casos, las leguminosas no precisan de aportes externos de nitrógeno si existen bacterias del género *Rhizobium* en el suelo en suficiente concentración, lo que puede comprobarse mediante un análisis. El fósforo y el potasio estimulan el crecimiento de los nódulos de bacterias. Este último, además, favorece la síntesis de hidratos de carbono y proteínas, componentes principales de los granos.

C) Tubérculos

La *patata* puede ser cultivada como extensivo y como hortícola. Es el cultivo no cerealístico más importante en el mundo. No tolera las temperaturas bajas, lo que obliga a cultivar la patata extratemprana y temprana en las zonas del sur y del litoral español. La patata de media estación y tardía se cultiva en zonas de Castilla y León y Galicia.

Es un cultivo de regadío en la mayor parte de España por sus altas exigencias en agua. La escasez de agua puede generar aumento de tubérculos, disminución del tamaño y malformaciones. Por otro lado, el exceso de agua genera tubérculos acuosos, poco ricos en fécula, de menor calidad y poca capacidad de conservación. La patata se adapta a diferentes tipos de suelo, pero prefiere los mullidos y aireados, ya que en terrenos compactados y pedregosos los tubérculos se deforman. Prefiere pH en torno a 5,5-7, pero tolera los suelos muy ácidos.

La patata es especialmente exigente en nitrógeno y potasio, y es muy sensible a la carencia de magnesio. El nitrógeno en exceso produce un elevado crecimiento aéreo en detrimento de la tuberización, y da lugar a tubérculos ahuecados y con grietas.

D) Cultivos industriales

La *remolacha azucarera* desarrolla la raíz, donde acumula las sustancias de reserva (sacarosa) durante el primer año, mientras que el alargamiento del tallo y la floración tiene lugar el segundo año. Es un cultivo de clima templado, soleado y húmedo. La temperatura óptima se encuentra en torno a los 20 °C. La acumulación de sacarosa se ve favorecida por la intensidad luminosa. En España hay dos modalidades de siembra, en primavera (zona norte) y en otoño (zona sur). Con respecto a suelos, la remolacha necesita suelos francos, de buena estructura, que permitan un buen desarrollo de la raíz y un pH cercano a la neutralidad, entre 6,5 y 7,5. Tolera la salinidad. Con respecto a las necesidades nutricionales, la remolacha azucarera es muy sensible a la carencia de boro; el nitrógeno influye de una forma determinante en producción y calidad, y tanto nitrógeno como fósforo y potasio se deben aportar antes de la siembra.

El *algodón* es un cultivo de las zonas cálidas, con una temperatura óptima de 28 °C. Es un cultivo exigente en agua, particularmente en el mes anterior a la floración. Requiere suelos profundos y permeables. Es de los cultivos más tolerantes a la salinidad. El abonado nitrogenado

tiene poco efecto en la producción de fibra; la carencia de fósforo repercute en un reducido tamaño de las plantas. Se recomienda no hacer un aporte de más de 180 kg/ha de nitrógeno, y realizar los aportes de fósforo y potasio de fondo.

El cultivo del *girasol* se adapta bien a diferentes condiciones climáticas. Puede soportar temperaturas bajas, por lo que, en el clima mediterráneo, se puede adelantar la siembra a la salida del invierno y así aprovechar las condiciones de humedad. En los periodos de floración, cuajado y maduración requieren de temperaturas elevadas, por lo que va bien en la latitudes españolas. También tiene una gran capacidad de adaptación a las diferentes condiciones de suelo, pudiendo prosperar en suelos superficiales, pobres, ligeramente ácidos o salinos. El cultivo de girasol puede realizarse en zonas de secano, si se superan los 400 mm, mientras no se hayan concentrado en el invierno, ya que el consumo de agua es máximo en el periodo de formación del capítulo.

Responde bien a la presencia de azufre asimilable en el suelo y es exigente en boro. El nitrógeno es indispensable para el llenado de las semillas, el fósforo favorece cuajado de frutos y maduración, y el potasio influye en el rendimiento de grasa.

RECURSO WWW

En la página web del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, al que puedes acceder a través del QR adjunto, se encuentra la base de datos con las variedades registradas y autorizadas para producción y comercialización de todos los cultivos mencionados.

Actividad propuesta 7.1

Realiza la búsqueda de cinco diferentes variedades registradas de las siguientes especies: trigo, maíz, algodón, lenteja, garbanzo y yeros.

E) Hortícolas

Los cultivos hortícolas son especies con marcadas diferencias entre sí, pertenecientes a diferentes familias botánicas, con exigencias de suelo y clima muy variables. Se puede hacer una primera clasificación en función de la época de cultivo en las latitudes medias:

1. *Hortícolas resistentes al frío:* coles, nabo, apio, espinaca, acelga, lechuga, rábano, perejil, zanahoria, alcachofa, ajo, habas, guisantes, cebolla, ajo, puerro...
2. *Hortícolas sensibles al frío:* melón, sandía, calabacín, pepino, tomate, pimiento, berenjena…
3. *Especies con variedades adaptadas a diferentes ciclos de cultivo y condiciones ambientales:* espinacas, lechuga, hinojo, patata…

Algunas hortalizas responden al fotoperiodo para su desarrollo durante la germinación, la elongación de tallos, la floración, etc. En la mayoría de las hortalizas la floración es el proceso que se ve más afectado y que influye de forma muy importante en la producción de las semillas:

- *Como plantas de día largo:* se puede citar la espinaca y la remolacha de mesa.
- *Como plantas de día corto:* el boniato y algunos cultivares de patata.

También se pueden clasificar las hortícolas por su órgano aprovechable (cuadro 7.1).

CUADRO 7.1
Clasificación de las hortícolas según su órgano aprovechable

Especies aprovechables por las semillas (judías, guisantes, habas…)	La judía es una planta de climas cálidos, sin exceder de los 28-30 °C. Es exigente en agua. El guisante es de climas templados y húmedos, con un cero vegetativo en torno a 4-5 °C. Tolera temperaturas máximas en torno a 21-24 °C y medias de 7 °C. En cuanto a suelos, el guisante tiene un pH óptimo entre 6-6,5 y prefiere que sean frescos y bien drenados. Las habas son de desarrollo otoñal e invernal. Prefieren los suelos algo arcillosos y con buena retención de agua, de pH entre 5 y 8. Todas las especies son sensibles a la sequía entre la floración y el cuajado de las vainas.
Especies aprovechables por el fruto (tomate, pimiento, berenjena, melón, sandía, calabacín, pepino...)	Tanto las solanáceas como las cucurbitáceas requieren para su maduración un clima templado y sol. Las cucurbitáceas son más exigentes en temperatura (21-36 °C durante el día) que las solanáceas (16-30 °C). La humedad es especialmente importante en cultivos aprovechables por su fruto, afectando a la polinización y a los frutos recién cuajados. No son especialmente exigentes en suelos, pero prefieren los suelos sueltos y bien drenados, y con contenidos altos de materia orgánica.
Especies aprovechables por la flor (coliflor, brócoli, alcachofa…)	Estos cultivos son relativamente resistentes al frío. La alcachofa tiene su óptimo de desarrollo entre los 15-18 °C. No es exigente a suelos, pero soporta mal el exceso de humedad, se adapta a suelos ligeramente alcalinos. Tanto coliflores como brócolis vegetan bien en temperaturas moderadas (15-18 °C), siendo las variedades de invierno muy resistentes al frío. En cuanto a suelos, vegetan bien en pH de 7,5-7,8 y en suelos ligeros con buena retención de humedad.
Especies aprovechables por las hojas (col, lechuga, escarola, espinaca, acelga...)	Las hojas se recolectan antes de que las plantas emitan los tallos que producen las flores. En el caso de coles y escarolas, el tallo floral se emite al segundo año. Prefieren climas templados y húmedos. Para lechuga entre 15-20 °C es el óptimo de desarrollo; un calor excesivo y días largos produce la subida a flor y un sabor amargo de las hojas. Las espinacas vegetan bien entre 15-18 °C; con más de doce horas de luz y más de 15 °C se produce la subida a flor. Las coles tienen un buen desarrollo entre los 13-18 °C, y según variedades pueden ser muy resistentes al frío. Las coles prefieren suelos ricos, de textura media y arcillosa y que retengan humedad pero sin encharcamientos. No toleran los suelos ácidos. La lechuga vegeta bien en suelos diversos, prefiere terrenos francos y frescos, con alta materia orgánica. Su pH óptimo está entre 6,8-7,4 y no resiste la acidez. Las espinacas requieren de suelos profundos y ricos, de consistencia media y sin encharcamiento de agua, que no tengan un pH de menos de 6. Los suelos alcalinos provocan en las espinacas clorosis férrica. Las acelgas prefieren suelos medios, frescos y con materia orgánica. Son poco tolerantes a la acidez del terreno.

[.../...]

Cuadro 7.1 (cont.)

Especies aprovechables por los órganos subterráneos (rábano, zanahoria, patatas, cebollas, ajos, puerros…)	Suelen ser de ciclo bianual, realizándose la recolección en el primer año, que es cuando realizan la acumulación de reservas. Son plantas poco exigentes en temperatura, vegetando bien con temperaturas diurnas entre 10-25 °C. En general requieren de suelos sueltos, no muy arcillosos, para que su parte subterránea tenga un buen desarrollo. Si los suelos son arcillosos o pedregosos suelen producirse órganos deformados. En general, no es aconsejable hacer aportaciones orgánicas inmediatamente antes del cultivo de estas especies. El rábano se puede abonar con lo que quede del cultivo anterior, por ser de ciclo muy corto. Y es sensible a la carencia de boro, igual que la zanahoria. La patata es sensible a la carencia de cinc. La cebolla tiene requerimientos medios de boro, algunas necesidades de azufre, que será conveniente aportar, como en el caso del puerro, y grandes exigencias en calcio. Las aportaciones de nitrógeno deben ser moderadas en el caso de la cebolla.

Recurso electrónico 7.1

En el anexo web 7.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre las épocas de siembra, trasplante y recolección de diferentes cultivos hortícolas.

Investiga

En el QR adjunto puedes encontrar información sobre el sistema y los organismos que gestionan la producción y comercialización del material de producción y reproducción vegetal en España. Visita la página e indaga acerca de las funciones de la Oficina española de variedades vegetales (OEVV), del Registro de variedades (Comerciales y Protegidas) y del Registro nacional de productores de semillas y plantas de vivero.

7.1.2. Necesidades de los cultivos leñosos

A la hora de realizar la implantación de un cultivo leñoso es muy importante conocer las características de las plantas elegidas, ya que son cultivos productivos a muy largo plazo y se requiere de una gran inversión inicial. La respuesta de la variedad y del patrón o portainjertos a las condiciones edafoclimáticas es de una importancia crucial para el futuro de la plantación.

A) Cítricos

La parte aérea de los cítricos se desarrolla generalmente en tres brotaciones: brotación-floración de primavera (mar.-abr.) y brotaciones vegetativas de verano (jun.-jul.) y otoño (sep.-oct.). El crecimiento del fruto se produce durante el verano, mientras que la cosecha se realiza

desde septiembre (especies y variedades más tempranas) hasta abril o mayo (las más tardías), mientras que las mayoría de las variedades se recolectan entre diciembre y febrero.

Los cítricos tienen origen en zonas de Asia tropicales y subtropicales y, por ello, las temperaturas cálidas son determinantes en el desarrollo vegetativo, la floración, el cuajado y la calidad del fruto, mientras que las heladas son muy perjudiciales. El envero o cambio de color del fruto se consigue por la alternancia de temperaturas entre día y noche al inicio del otoño. La inducción floral se produce por acumulación de horas frío durante el invierno o por déficit hídrico. Las necesidades hídricas de los cítricos están entre los 800 y 1200 mm, por lo que en España se cultivan en regadío. El estrés hídrico es más perjudicial durante el cuajado del fruto, la maduración y el engorde. Presentan un desarrollo óptimo en suelos profundos, arenosos o francos, permeables. Su sistema radicular se desarrolla mucho a nivel superficial. Su tolerancia al pH es intermedia, dependiendo del patrón.

Los cítricos son sensibles, en general, a la carencia de nutrientes como hierro, magnesio y cinc, pudiéndose aportar como abono foliar o quelatos. La falta de nitrógeno produce el amarilleamiento de hojas y frutos de menor tamaño. La carencia de potasio hace que los frutos sean de pequeño tamaño y la carencia de fósforo produce una menor floración y frutos grandes, pero poco consistentes.

RECURSOS WWW

Los patrones utilizados para los cítricos son: *Citrange carrizo, Citrange troyer, Mandarino Cleopatra, Citrus volkameriana, Citrus macrophylla* y *Citrumelo*. Accede al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, a través del QR adjunto (1), donde podrás obtener información sobre el comportamiento de los mismos y su influencia en la variedad injertada.

A través del QR (2) puedes enlazar con el Banco de germoplasma de cítricos del IVIA, donde encontrarás información sobre todas las variedades de cítricos cultivadas en España.

① ②

Actividad propuesta 7.2

Busca cuatro variedades de cada especie de mandarina, naranja, limón y pomelo, y realiza una tabla indicando las características del fruto de cada una de ellas.

B) Frutales

Para los frutales es necesario satisfacer el número de horas-frío necesarias para una adecuada floración y fructificación, sin que la baja temperatura afecte a los árboles.

Fundamental

✓ Los frutales pasan por una serie de fases fenológicas que son reposo invernal, floración y brotación vegetativa, cuajado de flores y caída de pétalos, caída de flores y frutos recién cuajados, desarrollo de las paredes del ovario, endurecimiento del hueso (en el caso de frutales de hueso), caída de frutos, parada estival e inducción floral y maduración.

Para obtener frutos de calidad son necesarias tanto una adecuada temperatura como la luz oportuna durante el periodo de crecimiento. Por otro lado, el viento dominante y el riesgo de heladas determinan la elección del lugar de la plantación.

Las variedades de frutales se injertan sobre patrones que deben cumplir una serie de requisitos con respecto a su adaptación al tipo suelo: pH, salinidad, drenaje... Y, por otro lado, deben presentar adaptación o resistencia a las enfermedades o fisiopatías según la especie. Al mismo tiempo, los portainjertos deben ser compatibles con la variedad y transmitirle los rasgos deseados como vigor y precocidad. Los portainjertos pueden ser patrones francos u otros procedentes de reproducción vegetativa.

Hay variedades de frutales autofértiles como melocotón y albaricoque, y otras autoincompatibles, que necesitan la presencia de otras variedades en la plantación para que se lleve a cabo una polinización cruzada, tales como el cerezo, el ciruelo japonés y el almendro, esto debe tenerse en cuenta en el diseño de la plantación.

El fósforo y el potasio se aplican antes de la plantación. Los árboles en formación necesitan del aporte de fósforo. Entre la floración y el cuajado se producen las máximas necesidades de abonado, sobre todo de nitrógeno, que es el principal elemento hasta el endurecimiento del fruto. Desde ese momento y hasta la recolección, el elemento que tiene un papel más importante es el potasio.

C) Vid

El cultivo de la vid se sitúa en el hemisferio norte entre los 34° y los 49° de latitud, lo que abarca todo el territorio español. La vid puede aguantar en invierno temperaturas del orden de –12 °C. Temperaturas inferiores a –2 °C después de la brotación pueden causar graves daños. El intervalo ideal de temperaturas durante la etapa de desarrollo está entre 9 °C y 26 °C. Las mejores temperaturas para el desarrollo del fruto son entre los 20 °C y los 30 °C. Con temperaturas en torno a los 30-35 °C y viento seco se pueden quemar hojas y racimos.

La planta de la vid tiene raíces muy profundas, lo que la hace muy resistente a la sequía. Las necesidades hídricas de la vid son mayores y más importantes desde después de la floración hasta la maduración del fruto. La vid puede sobrevivir con 300 mm anuales; hay variedades que incluso con menos. La distribución de estas precipitaciones a lo largo del ciclo de cultivo es muy importante. Unas precipitaciones mayores o el aporte de riego producen un aumento de la producción.

El cultivo de la vid se adapta a gran parte de los terrenos de uso agrícola; es una planta de gran rusticidad. Los factores que limitan el cultivo son la salinidad, el exceso de caliza, los niveles elevados de arcilla y el exceso de humedad. Un elevado pH puede producir clorosis. Es crucial la elección del portainjertos.

La vid, a nivel nutricional, se caracteriza por una necesidad moderada de elementos. Prácticamente el cien por cien de nutrientes se absorben entre brotación y envero. El nitrógeno es básico en el desarrollo del fruto y la maduración, y el potasio sobre todo en la maduración.

RECURSOS WWW

Las variedades de vid se pueden clasificar en dos grandes grupos: las destinadas a la vinificación y las de uva de mesa. Los siguientes QR adjuntos enlazan con el MAPAMA, y en ellos puedes encontrar información sobre las características de las principales variedades de uva cultivadas en España (1), y sobre los principales patrones utilizados en vid (2).

① ②

Actividad propuesta 7.3

Elige tres patrones de vid e indica sus aptitudes agronómicas.

D) Olivo

El olivo puede soportar temperaturas de hasta 40 °C en verano y –12 °C en el reposo invernal. A finales de invierno e inicios de la primavera se inicia la diferenciación de las yemas, por lo que es sensible a las heladas primaverales, aunque no suele presentar problemas de heladas, con excepción de variedades muy tempranas. Tiene escaso requerimiento de horas-frío. Es un cultivo muy vecero. Los vientos secos y las temperaturas elevadas durante la floración provocan una intensa caída de flores, por lo que se resiente seriamente la producción.

El olivo es una planta rústica en cuanto a suelo, desarrollándose incluso en los de escasa fertilidad. Aunque vegeta mejor en suelos franco arenosos, profundos y con buen drenaje, ya que es muy sensible al encharcamiento. Entre los frutales, es de los que mejor soportan la salinidad y los niveles elevados de caliza.

El olivo está muy bien adaptado al secano, según zonas y variedades puede desarrollarse con 250 mm anuales, pero con producciones muy mermadas. El óptimo de precipitaciones se sitúa en torno a los 650 mm.

El olivo es una especie anemófila. En algunas plantaciones se da un bajo nivel de cuajado, que se atribuye a que hay variedades autoincompatibles o parcialmente autocompatibles. Por ello se recomienda la colocación de polinizadores, aunque lo habitual es que las plantaciones sean monovarietales.

Se pueden clasificar las variedades de aceituna en dos grandes grupos: las destinadas a la obtención de aceite y las aceitunas de mesa. Existe un gran número de variedades de olivo locales y muy antiguas en diversos lugares de España.

Con respecto a la nutrición, las necesidades de nitrógeno son mayores en floración y cuajado, las de potasio durante el endurecimiento del hueso y las de fósforo son más regulares a lo largo de todo del ciclo. Calcio, hierro y boro son elementos muy importantes en la nutrición del olivar. La hoja del olivo admite muy bien el abonado foliar; en secano es aconsejable hacer las aportaciones de fertilizantes por esta vía.

Recurso WWW

Las variedades de olivo pueden clasificarse en variedades de mesa y variedades para aceite. En España se cultivan más de 260 variedades diferentes, la mayoría locales y muy antiguas. Existen catálogos varietales para cada región oleícola, como el del IVIA, de la Comunidad Valenciana, al que puedes acceder a través del QR ajunto.

Actividad propuesta 7.4

Busca en el siguiente QR qué es el Pasaporte Fitosanitario y el Registro Oficial de Productores, Comerciantes e Importadores de Vegetales (ROPCIV). A continuación, indica varios ejemplos de productos que deben llevar el pasaporte fitosanitario y el motivo de ello.

7.2. Rotaciones y asociaciones de cultivos

Con la llegada de la agricultura industrial, los biocidas y los fertilizantes de rápida asimilación, se fue abandonando la práctica de rotaciones y asociaciones de cultivos, ya que las limitaciones que ayudaban a remediar, como el control de malas hierbas, plagas y enfermedades, empezaron a solucionarse, con otros métodos que, como ya se ha comprobado, tienen consecuencias negativas para la salud y el medio ambiente.

7.2.1. Origen y necesidad de las rotaciones y asociaciones de cultivos

La necesidad de las rotaciones de cultivos se conoce prácticamente desde los orígenes de la agricultura. El *abono sideral* es el primer sistema de rotación que se conoce, y consiste en sembrar un cultivo mejorante del suelo después de la cosecha, con el objetivo de segarlo e incorporarlo para beneficiar al cultivo siguiente. Dejar periodos de *barbecho* o descanso del suelo es también una práctica tradicional que permite mantener el contenido en humus del suelo, controlar la vegetación adventicia y almacenar agua para el cultivo siguiente, evitando de esa manera lo que se conoce como *fatiga del suelo.* Por otra parte, las *asociaciones* benefician a los cultivos por el aprovechamiento de alelopatías, espacio ocupado, profundidad de raíces y otras ventajas. Algunas de estas asociaciones llevan practicándose desde tiempos antiguos como la asociación precolombina de maíz, judía y calabaza.

SABÍAS QUE...?

En el IFAPA de Alameda del Obispo (Córdoba), se encuentra la Colección Mundial de Variedades de Olivo, cuyo objetivo principal es salvaguardar, evaluar, documentar y facilitar la utilización de todas las variedades cultivadas en el mundo. Actualmente alberga alrededor de 900 variedades de olivo de 25 países.

IFAPA (Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica).

7.2.2. Rotaciones y alternativas

Una *rotación* es una sucesión de cultivos en el tiempo en una misma parcela. Su implementación se justifica por razones de tipo agronómico, económico y social.

La *alternativa* es la distribución espacial de los cultivos en un momento determinado. Se llama *hoja* o *amelga* a cada una de las parcelas en que se divide la finca y que tiene un cultivo diferente de la rotación. Los *cultivos principales* son los cultivos que forman parte de la sucesión y que normalmente ocupan más tiempo en la rotación y los cultivos *intercalares o secundarios* son los de menor duración, y ocupan los espacios de tiempo que dejan los cultivos principales.

Las ventajas e inconvenientes de la práctica de las rotaciones se resumen en el cuadro 7.2.

CUADRO 7.2
Ventajas e inconvenientes de las rotaciones de cultivos

Ventajas	Inconvenientes
– Mejora de la reserva de humus y de la aireación del suelo. – Mejora del aprovechamiento de los elementos nutritivos: necesidades complementarias. – Reducción de la fertilización mineral nitrogenada al introducir leguminosas en la rotación. – Estimulación de la actividad microbiana del suelo. – Limitación del desarrollo de adventicias, parásitos y enfermedades. – Aumento de la diversidad y el equilibrio del sistema. – Menor riesgo económico al diversificar las producciones. – Posible aumento de la productividad, al contabilizar varias producciones. – Mejor distribución de la necesidad de mano de obra requerida, trabajo más regular.	– Manejo más complejo. – Aumento de la planificación de las tareas que se tienen que realizar. – Necesidad de una formación más completa del agricultor. – Mayor dificultad en la mecanización de las tareas. – Mayor necesidad de mano de obra.

Recuerda

✓ El estado en que queda el suelo después de un cultivo influye en el cultivo siguiente:

- Las *leguminosas* fijan el N del aire y sus raíces mejoran la estructura del suelo. Según su uso posterior, pueden ser para grano, forraje o como abono verde. En este último caso, aportan elementos minerales y activan la vida microbiana.
- Los *cereales* dejan una buena estructura en el suelo. El suelo queda bastante compactado y pobre en nitrógeno, ya que son buenos consumidores de este. Las mezclas de cereal-leguminosa para enterrar en verde suelen ser muy buenos precedentes.
- Las *crucíferas* aportan una gran masa vegetal. La profundidad de sus raíces hace que eleven los elementos minerales y esponjen el suelo, por tanto, son cultivos mejorantes. Los cultivares para consumo en fresco realizan grandes extracciones, son cultivos exigentes en nutrientes.
- Las plantas de escarda son de alto rendimiento y muy exigentes en las condiciones del cultivo. Son grandes consumidoras de humus y nitrógeno, y sus raíces superficiales apenas mejoran el suelo, suelen ser los cultivos principales y los que reciben la mejor fertilización. Son cultivos que se siembran en línea, permitiendo la realización de labores entre líneas para eliminar adventicias (patatas, remolacha, maíz...).

7.2.3. Diseño de una rotación

Para seleccionar y ordenar los cultivos hay que tener en cuenta aspectos como los que se detallan a continuación.

A) Las rotaciones son plurianuales

En primer lugar, debe decidirse el número de años para establecer la rotación y, posteriormente, dividir la finca en parcelas o sectores (alternativa) y elegir los cultivos que se van a integrar en la rotación. Para ello, debe establecerse un calendario de fechas de siembra o plantación y recolección de las plantas que interesen. Esto permite programar y planificar las prácticas culturales de la finca, asegurando el mejor aprovechamiento de los medios de producción. En horticultura las rotaciones más generalizadas son la trienal y la cuatrienal. En cultivos extensivos son más comunes la trienal y la bienal. En cualquier caso, será tanto más beneficioso cuanto mayor número de años se alargue la rotación.

B) Planificar la rotación

Se sitúa primero el cultivo cabeza de la rotación y, de acuerdo con su ciclo, que acaba con la recolección, se ordenan el resto de cultivos principales de los años siguientes. Suele comenzarse por un cultivo muy exigente, ofreciendo previamente al suelo una fuerte aportación de abono

orgánico. El segundo año, se sigue con un cultivo menos exigente. Si el nivel de nitrógeno en el suelo es bajo, se cultiva una leguminosa y, si es óptimo, se deja la leguminosa para el tercer año. Posteriormente se definen los cultivos intercalares o secundarios, generalmente de ciclo corto (lechuga, nabos, rábanos, etc.), que no requieren cuidados excesivos. Si el suelo no está bien provisto de materia orgánica antes de iniciar la rotación, se puede empezar con una leguminosa forrajera o un abono verde.

En horticultura de regadío los cultivos principales suelen ser los cultivos de verano, principalmente solanáceas y cucurbitáceas, ya que son exigentes y delicados en fertilización y manejo, demandan labores diversas y específicas como acolchados, tutores, podas, escardas, etc. En extensivos es aconsejable empezar la rotación con una pradera multiespecífica que ayude a mejorar la estructura del suelo.

Especies como la alcachofa, el tomate, el espárrago, la fresa... pueden permanecer en la parcela varios años, pasados estos años se levantan de esta parcela y se sigue con la rotación planificada.

El *periodo de vuelta* o tiempo durante el que no se debe repetir un cultivo en la misma parcela está reflejado en el cuadro 7.3.

CUADRO 7.3
Clasificación de las especies por familia y vuelta a la parcela en años

Compuestas	Años	Crucíferas	Años	Cucurbitáceas	Años	Gramíneas	Años	Leguminosas	Años
Achicoria	2	Berro	5	Calabacín	2	Cereales	3	Guisante	4-5
Alcachofa	4	Brócoli	5	Calabaza	2			Haba	4-5
Cardo	3	Col	5	Melón	5-6			Judía	2-3
Escarola	2	Coliflor	5	Pepino	2				
Lechuga	2	Nabo	5	Sandía	5-6				
		Rábano	5						

Liliáceas	Años	Quenopodiáceas	Años	Rosáceas	Años	Solanáceas	Años	Umbelíferas	Años
Ajo	4-6	Acelga	3	Fresa	4	Berenjena	3-4	Apio	3
Cebolla	4-6	Espinaca	3	Fresón	4	Patata	3-5	Chirivía	3
Espárrago	4-6	Remolacha	3			Pimiento	3-4	Hinojo	3
Puerro	4-6					Tomate	3-4	Perejil	3
								Zanahoria	3

C) Introducir regularmente alguna leguminosa

Con las leguminosas se consigue reducir la fertilización nitrogenada, economizando costos y evitando la contaminación de las aguas por la lixiviación de nitratos.

D) Suceder plantas con distintos sistemas radiculares

El objetivo es que las raíces exploren a diferentes profundidades, ayudando a mantener la estructura del suelo y aprovechando los elementos nutritivos. Hay especies de raíces superficiales que se localizan en mayor medida en los primeros 50 cm de suelo; otras especies enraízan a una profundidad intermedia (hasta los 90-1,20 cm), y de raíces profundas, que superan la pro-

fundidad anterior. Es interesante que a una planta que requiere un laboreo profundo le siga otra que necesite un laboreo superficial. Por ejemplo, al introducir crucíferas como rábano forrajero, colza y mostaza, que son de enraizamiento profundo, se aprovechan elementos nutritivos de difícil extracción para otras hortalizas.

Cuadro 7.4
Clasificación de plantas hortícolas por la profundidad de sus raíces

Enraizamiento superficial			Enraizamiento intermedio		Enraizamiento profundo	
Acelga	Col de Bruselas	Maíz dulce	Berenjena	Nabo	Achicoria	Espárrago
Ajo	Coliflor	Patata	Calabacín	Pepino	Alcachofa	Sandía
Apio	Endivia	Puerro	Guisante	Perejil	Boniato	Tomate
Berro	Escarola	Rábano	Haba	Pimiento	Calabaza	
Borraja	Espinaca	Rúcula	Judía	Remolacha	Cardo	
Brócoli	Fresa	Salsifí	Melón	Zanahoria	Chirivía	
Cebolla	Hinojo				Hinojo	
Chalote	Lechuga					
Col						

E) Intercalar plantas de escarda

Las plantas de escarda (remolacha, maíz…) son aquellas que por su elevada competitividad, por su alta densidad de siembra o por cultivarse de manera que se realizan escardas entre líneas de cultivo, se comportan como asfixiantes de las plantas adventicias. Aquellos cultivos que tardan en germinar y pueden verse invadidos por la flora arvense o espontánea deben ser cultivados después de cultivos vigorosos y asfixiantes.

F) Evitar la sucesión de cultivos infestantes

Hay cultivos que por su velocidad de crecimiento, por competencia por el espacio o por interacciones alelopáticas tienen una acción sofocante sobre las plantas adventicias. Son los denominados *cultivos limpiadores* (patata, col, alfalfa, abonos verdes, cereales, etc.). Por el contrario, los *cultivos infestantes* son aquellos que permiten el desarrollo de la vegetación espontánea (cebolla, zanahoria, judía, etc.). Después de su cultivo se deben realizar labores que disminuyan el número de adventicias y cultivar especies limpiadoras. Puede incluso plantearse la rotación con el objetivo de controlar una especie adventicia concreta. En ese caso, se establece un cultivo de la misma familia que la hierba que se quiera controlar, por ejemplo, se puede implantar rábano forrajero ante la presencia de crucíferas adventicias o gramíneas forrajeras como el pasto del Sudán o el sorgo para hacer frente a la juncia o la grama.

G) Suceder plantas con partes aprovechables diferentes (hoja, raíz, fruto y flor)

Las necesidades nutritivas de los cultivos en los que se aprovecha el mismo órgano tienden a ser semejantes.

H) Suceder plantas que pertenezcan a familias botánicas diferentes

Las plantas de la misma familia tienen necesidades similares y suelen ser susceptibles de padecer los mismos parásitos.

I) Suceder plantas con problemas sanitarios diferentes

Alternando cultivos hospedadores con otros no hospedadores se puede reducir la transmisión de plagas y enfermedades de origen edáfico. Por ejemplo, los nematodos dorados de la patata, los gusanos de alambre, la hernia de la col y el mal de pie del trigo pueden controlarse eficazmente con una rotación bien diseñada.

J) Introducir plantas repelentes de nematodos

Los nematodos pueden afectar a plantas de diferentes familias; por tanto, puede ser conveniente introducir plantas repelentes como caléndula, tagete y mostaza blanca.

K) Alternar cultivos que aporten mucha biomasa con cultivos que aporten poca

Para mantener el nivel de materia orgánica del suelo es aconsejable introducir cultivos generadores de materia humificable, como cereales, o que dejen bastante rastrojo, que también puede ser aprovechable por el ganado.

Figura 7.1
Campo con restos de cultivo de coles con ovejas de raza Guirra pastando al fondo.

L) Suceder plantas de especies muy exigentes en materia orgánica con otras poco exigentes o mejorantes

Según las necesidades de materia orgánica de los cultivos, se pueden clasificar las hortalizas en los siguientes grupos:

- *Cultivos exigentes.* Son los cultivos que requieren abundantes aportaciones de estiércol o de compost, que puede ser parcialmente descompuesto. Están en este grupo las hortalizas de fruto, así como coles y puerros.
- *Cultivos medianamente exigentes.* Aquí se encuentran las especies de hoja como acelga y lechuga. Aunque pueden requerir cantidades de estiércol de medias a altas, es mejor que esté bastante descompuesto.
- *Cultivos poco exigentes.* Requieren un aporte de materia orgánica muy descompuesta. Son las hortalizas de raíz y las leguminosas.

7.2.4. Representación gráfica de las rotaciones de cultivo

Existen diferentes formatos para realizar la representación gráfica de las rotaciones de cultivo. En la figura 7.2 se exponen representaciones de una rotación con los siguientes cultivos extensivos: algodón, patata, girasol, veza-avena y maíz grano.

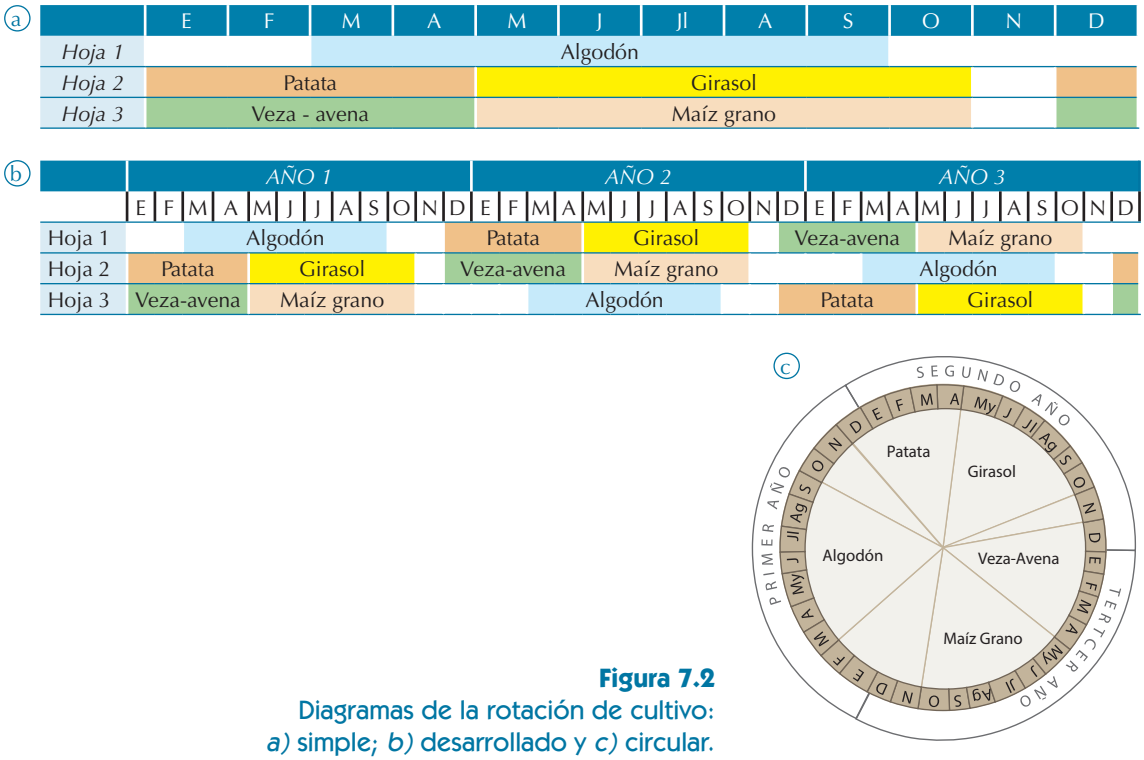


Figura 7.2
Diagramas de la rotación de cultivo:
a) simple; *b)* desarrollado y *c)* circular.

7.2.5. Asociaciones de cultivos o policultivos

Se llama *asociación de cultivos* o *policultivo* al cultivo en la misma parcela de dos o más especies que coincidan al menos durante una parte de su ciclo. La mayoría de las ventajas e inconvenientes del uso de esta práctica son coincidentes con los citados para las rotaciones, si bien los más concretos se exponen en el cuadro 7.5.

CUADRO 7.5
Ventajas e inconvenientes de las asociaciones de cultivos

Ventajas	Inconvenientes
– Aprovechamiento de los efectos beneficiosos de unas plantas sobre otras. – Aumento de la biodiversidad. – Mejor aprovechamiento de la tierra, el espacio y el agua. – Reducción de los riesgos económicos por pérdida de cosecha. – Menor incidencia de plagas y enfermedades. – Mayor protección frente a la erosión.	– Disminución del crecimiento debido a competencias entre cultivos, si no se eligen bien las especies. – Mayor necesidad de planificación. – Formación más completa del agricultor. – Dificultad en la mecanización de las tareas. – Mayor necesidad de mano de obra.

Los factores que hay que considerar a la hora de planificar una asociación de cultivos son:

1. *Plantas acompañantes.* Plantas que se desarrollan juntas y obtienen un beneficio mutuo para ambas. Mejora del sabor de los productos, aumento de la calidad nutritiva, mayor crecimiento, etc. Las raíces de las gramíneas pueden aprovechar los aminoácidos que excretan las leguminosas.
2. *Plantas repelentes.* Mantienen alejados a insectos perjudiciales para los cultivos. Esta influencia puede llegar hasta los diez metros de distancia. Pueden repeler un insecto específico o varios. La zanahoria aleja la mosca del puerro y este aleja a la mosca de la zanahoria.
3. *Plantas trampa.* Ejercen una gran atracción sobre los insectos, que se desvían hacia ellas evitando su ataque al cultivo. La berenjena atrae al escarabajo de la patata, con lo que puede plantarse en los bordes de la parcela y allí destruirlos con mayor facilidad.
4. *Necesidades nutricionales.* Es conveniente asociar plantas de distintas familias, con diferentes requerimientos, tanto en nutrientes, como en luz o agua.
5. *Entutorado.* Las plantas de porte erecto pueden servir de tutor de otras que precisan enrame. El tallo del maíz sirve de tutor a la judía de enrame.
6. *Sombreo.* Hay plantas que necesitan sombreo y, por tanto, pueden crecer a la sombra de otra más exuberante. En ocasiones, la germinación de una especie se ve favorecida por la sombra que le ofrece otra. La zanahoria sembrada a la sombra de la lechuga ve favorecida su germinación por el mantenimiento de la humedad del suelo.
7. *Humedad.* Las plantas menos exigentes en humedad se combinan bien con las más exigentes.
8. *Enraizamiento.* Una forma de aprovechar el espacio es asociar plantas con diferentes sistemas radicales. Se evita el solapamiento, y las plantas de enraizamiento superficial se benefician del mejoramiento del suelo por las plantas de enraizamiento profundo. La chirivía posee una raíz más profunda y la escarola más superficial por lo que se pueden combinar.
9. *Ritmo de crecimiento.* Las plantas con distinta velocidad de crecimiento, una más lenta y otra más rápida, permiten reducir el trabajo y mantenimiento del suelo, aumentando la producción por unidad de superficie. Las de crecimiento rápido limitan el número de adventicias. Se puede trasplantar de forma combinada lechuga y col, recolectando la lechuga antes, ya que alcanza su tamaño comercial en menos tiempo y deja un espacio que aprovechan las coles para terminar de crecer.
10. *Polinización.* Utilizar especies que atraen polinizadores para favorecer la polinización del cultivo. La borraja es una planta muy melífera que atrae polinizadores de los que se puede beneficiar el cuajado del tomate.

11. *Volumen ocupado.* Combinar plantas de porte alto con plantas de porte bajo mejora el uso del espacio.
12. *Época de siembra.* Es aconsejable que las plantas que se vayan a asociar coincidan en la época de siembra, para facilitar las tareas.
13. *Mecanización del sistema.* Es conveniente que el diseño de plantación que se haga permita la mecanización del cultivo.

El *policultivo* es especialmente interesante en el caso de la viticultura y los frutales para mejorar la estructura del suelo, evitar la evaporación del agua y la erosión y controlar las plagas.

Se pueden establecer asociaciones frutales-leguminosas, frutales-hortícolas, etc.

Existen asociaciones desfavorables como puede ser la combinación de liliáceas y leguminosas, debido a que las primeras segregan compuestos azufrados que inhiben la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno de las segundas.

En *cultivos extensivos* se realizan asociaciones tradicionales del tipo forrajeras, praderas y pastizales como la mezcla de cereales y leguminosas. Por otro lado, en pastos se pueden utilizar las mezclas de gramíneas, leguminosas y crucíferas, también utilizadas, como ya se ha mencionado, como abonos verdes.

RECURSO ELECTRÓNICO 7.2

En el anexo web 7.2, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre las asociaciones favorables y desfavorables entre cultivos concretos.

7.2.6. Tipos de asociaciones de cultivos

Para realizar el diseño de los cultivos asociados se pueden utilizar diferentes esquemas de distribución en la parcela, como se observa en la figura 7.3: cultivos mezclados, cultivos intercalados o cultivos en franjas. Por otra parte, los llamados *cultivos de relevo* desarrollan solo una parte de sus ciclos junto al resto, ya que son de ciclos de diferente duración.

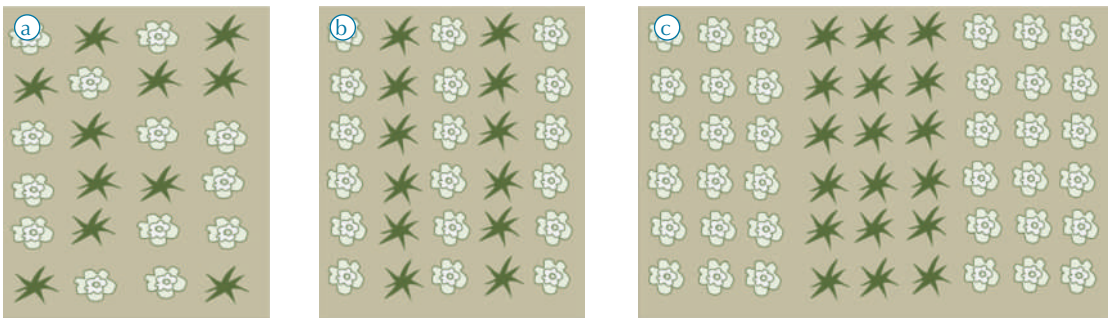


Figura 7.3
Disposición espacial de cultivos asociados: *a)* mezclados; *b)* intercalados y *c)* en franjas.

Otro ejemplo de asociación puede ser cultivar plantas protectoras acompañando al cultivo propiamente dicho:

- La hierbabuena (*Mentha spicata*) repele las hormigas, evitando los pulgones que estas trasladan, y también repele la mariposa de la col y los roedores.
- El romero (*Rosmarinus officinalis*) repele la mosca de la zanahoria.
- El tagetes (*Tagetes patula, T. minuta*); las sustancias que segregan sus raíces tienen efectos nematicidas. Repele la mosca blanca.
- La abrótano macho (*Artemisia abrotanum*) repele las polillas de los frutales cultivada bajo estos y a la mariposa blanca de la col.

Actividad propuesta 7.5

Consulta la publicación del MAPAMA, a la que puedes acceder a través del QR adjunto, sobre asociaciones de cultivos y explica de forma resumida cuáles son los mecanismos de defensa de los policultivos frente a plagas.

7.3. Implantación del cultivo

Tanto la elección del lugar de ubicación del cultivo como la especie y variedad elegidas, así como el material vegetal a emplear, son de suma importancia a la hora de realizar la implantación del mismo. Por otro lado, las labores que se realizan inmediatamente después de la implantación del cultivo son fundamentales para su evolución futura.

7.3.1. Material vegetal, criterios de calidad y recepción. Acondicionamiento

El material vegetal utilizado en la actualidad ha sido sometido a un control y certificación que garantizan su procedencia y calidad. Por otro lado, se debe comprobar a la recepción del mismo su buen estado para la plantación, así como acondicionarlo de forma conveniente.

A) Semillas

La normativa exige que las semillas certificadas cumplan unos mínimos relativos a la *pureza específica,* expresada en porcentaje en peso, y al *porcentaje de germinación* de semillas puras o glomérulos. Se permite un contenido máximo de semillas de otras especies expresado en porcentaje en peso.

Según la normativa vigente los agricultores pueden proveerse de semillas de dos maneras, mediante la adquisición de semilla certificada en el mercado o mediante el uso de granos para siembra producidos por ellos mismos. La normativa regula detalladamente la producción y comercio de semillas, así como los casos y excepciones en que el agricultor debe pagar por utilizar su propia semilla.

Las semillas deben almacenarse, en su caso, en un lugar fresco y seco, con oscuridad y baja temperatura. Un cambio en estas condiciones puede romper el periodo de latencia y producirse

la germinación en un momento inadecuado. A no ser que la humedad del lote sea muy baja, no pueden almacenarse en botes herméticos o bolsas de plástico. Es importante que se garantice la fecha del análisis de la capacidad de germinación, ya que esta disminuye con el paso del tiempo. En el caso de utilizar semillas tratadas con insecticidas o fungicidas, deben tomarse medidas preventivas (uso de guantes, máscara, lavado de manos, etc.).

Recurso WWW

A través del código QR adjunto puedes consultar el Anejo VII del Reglamento Técnico de Control y Certificación de Semillas de Plantas Hortícolas, donde se enumeran los datos que deben figurar en las etiquetas del productor o en una inscripción sobre los envases en semillas certificadas.

B) Plantones

Los plantones (que posteriormente se implantan en campo) pueden tener origen en semillas de especies herbáceas (mediante realización de semillero) o pueden ser los plantones de especies leñosas, que normalmente se componen de un patrón y una variedad injertada y proceden de viveros.

La forma en la que llegan los plantones de hortícolas a la finca suele ser en bandejas de poliestireno expandido o de plástico termoformado, con un diferente número de alvéolos en función del tamaño de las plantas. Pueden guardarse por un tiempo, hasta que se den las condiciones idóneas para la plantación en el lugar definitivo, siempre que se mantengan en un lugar sin excesiva insolación y con el riego necesario. Posteriormente, se plantan con su cepellón.

Figura 7.4
Semillero en bandeja de poliestireno expandido con plantones de col.

Determinadas hortícolas pueden ser suministradas a raíz desnuda como es el caso de cebolla, cebollino y alcachofa, de la que se planta un rizoma con parte de tallo.

Los plantones de frutales también pueden ir a raíz desnuda o con cepellón. En caso de llegar a raíz desnuda la planta ha sido cultivada en un sustrato arenoso del que se extrae con la raíz prácticamente limpia. En caso de quedar restos de tierra ha de comprobarse que están húmedos. Estos plantones son más económicos y tienen un menor coste de transporte que si son plantas con cepellón en contenedor de plástico. En caso de no poderlos plantar inmediatamente, se pueden mantener con la humedad adecuada sumergiéndolos en agua o envolviéndolos en telas humedecidas. Si fuera necesario esperar más de una semana, es conveniente plantarlos temporalmente. En el caso de frutales a raíz desnuda, la plantación debe hacerse en el periodo de reposo vegetativo. No todos los tipos de plantas toleran la plantación a raíz desnuda. La plantación con cepellón tiene un porcentaje de arraigo más alto que a raíz desnuda y se puede realizar en diferentes épocas.

Aunque el material vegetal esté certificado, es conveniente realizar un examen visual de las plantas antes de adquirirlas o una vez recepcionadas, para poder descartar las que tengan evidencias de algún tipo de plaga, enfermedad o fisiopatía:

- Revisar las raíces en plantas a raíz desnuda, viendo que están sanas y que tienen un tamaño y una distribución normal, sin evidencias de necrosis, exudaciones, sequedades.
- Observar la unión del injerto, debe estar firme, sin presencia de protuberancias o signos de incompatibilidad.
- Revisar el estado de la parte aérea, el número de savias debe corresponder con lo que se ha estipulado en la compra, así como el calibre y la calidad.

Actividad propuesta 7.6

En el QR adjunto encontrarás la normativa relativa a la producción y el control del material vegetal destinado a la producción. Busca el reglamento donde se indican los requisitos que debe cumplir el etiquetado de los plantones de frutales destinados a la producción frutícola e indícalos.

Figura 7.5
Etiqueta de pasaporte fitosanitario de patrón de limonero.

SABÍAS QUE...?

Para poder comercializar semillas o plantas de vivero es preciso que los profesionales estén registrados previamente. Este registro se realiza en la comunidad autónoma donde tengan su sede social, de acuerdo con la actividad principal que realizan, ya sea como productores o como comerciantes.

Este registro nacional recoge las inscripciones comunicadas por las comunidades autónomas y tiene una finalidad informativa de utilidad para todos los interesados en este sector. Es un medio que aporta transparencia e información al mercado, y un lugar donde poder efectuar consultas y búsquedas de interés.

Se pueden realizar búsquedas de productores seleccionando diferentes criterios de filtrado como: especie, comunidad autónoma, provincia, municipio, código de registro, productor y categoría.

Puedes acceder a través del código QR adjunto.

7.3.2. Diseño del cultivo y preparación del terreno

Una vez determinada la ubicación de la plantación y elegida la variedad, debe seleccionarse el *marco de plantación* que se va a utilizar. Deben tenerse en cuenta las distancias más aconsejables en función del tamaño de las plantas, el entutorado, la asociación de cultivos, la maquinaria y el sistema de riego. En cultivos leñosos, dado que son plantaciones que van a permanecer durante años, debe tenerse en cuenta el tamaño del árbol a largo plazo. La elección del marco de plantación dependerá del vigor de la variedad y del patrón, el sistema de formación y el tipo de poda.

En el caso de utilizar variedades de frutales con posible incompatibilidad, se deben introducir variedades polinizadoras, en un porcentaje y distribución que dependerá de las necesidades del cultivo.

Los tipos de marcos de plantación más habituales son el marco real, el marco rectangular, el tresbolillo y el cinco de oros.

RECURSO ELECTRÓNICO 7.3

En el anexo web 7.3, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los esquemas y las características más importantes de los diferentes tipos de marcos de plantación, así como los marcos de plantación recomendados para algunos cultivos.

PARA SABER MÁS

La tendencia actual en frutales es la utilización de densidades de plantación elevadas, con el objetivo de anticipar la entrada en producción, aumentar los rendimientos por unidad de superficie y amortizar rápidamente la inversión.

Puede iniciarse la plantación con el denominado *marco dinámico,* que consiste en utilizar densidades altas en la plantación, eliminando la mitad de los árboles cuando comienza a resentirse la capacidad productiva.

Las plantaciones intensivas, a la larga, presentan problemas de producción y en la calidad de la fruta por falta de iluminación en el interior de la copa y en la parte inferior de los árboles.

La *preparación del terreno* para la siembra o plantación consta de una serie de pasos básicos que pueden variar en función de las necesidades de cada cultivo y del tipo de gestión del cultivo que se hará posteriormente. En el caso de los frutales, el primer paso es eliminar los restos de plantaciones anteriores. Para los cultivos herbáceos este paso puede realizarse eliminando el rastrojo del cultivo o dejándolo en el terreno, e incluso incorporándolo, lo que es bastante habitual en producción ecológica.

En frutales el siguiente paso es la *realización de un desfonde profundo*, llegando a 90 cm, seguido de laboreos cruzados, para favorecer el desarrollo de raíces y la entrada del agua de lluvia. Después se aplica un abonado de fondo, en torno a las 30 t/ha de estiércol humificado, lo que ayuda a la mejora de la estructura del suelo y la aplicación de algún herbicida de contacto (salvo en producción ecológica).

Si es necesario, se realiza una nivelación del terreno y un abancalado. Cuando se trata de parcelas con poca pendiente se puede plantar según curvas de nivel, sistematizando la plantación con caballones, mesetas o terrazas invertidas.

En el caso de realizar una siembra en lugar del desfonde, que solo se haría en casos necesarios, se puede dar un pase de cultivador y, después, un gradeo o fresadora para dejar el lecho de siembra preparado. Si se realiza un trasplante de hortícolas también se debe dejar el suelo lo suficientemente suelto en superficie para que puedan implantar bien las raíces, con un pase de fresadora.

Previo a la plantación o siembra se realiza la conformación final del terreno pudiendo realizarse lomos o caballones, mesetas o hileras, dependiendo, sobre todo, del sistema de riego y de la mecanización.

7.3.3. Replanteo, siembra y plantación

A la hora de realizar la plantación ha sido necesario previamente marcar el lugar que van a ocupar los pies en el terreno. El replanteo es tan importante como realizar una siembra y plantación adecuadas a cada especie. Un marco de plantación bien definido permite posteriormente facilitar las labores del cultivo.

A) Replanteo

Para ubicar cada planta en el lugar del terreno según su marco de plantación, se requiere de un replanteo previo. En el caso de establecerse un marco de plantación regular, se comienza estableciendo una línea base recta para después establecer las líneas perpendiculares para evitar las desviaciones a la hora de marcar la posición de cada planta. Los ángulos rectos se pueden trazar utilizando tres cuerdas de longitudes que guarden la proporción 3:4:5. A continuación, sobre cada línea base y sus perpendiculares se señala la posición de cada árbol con cinta métrica o cuerdas. La posición de cada árbol es conveniente marcarla con cal. Se puede marcar con estacas pero estas entorpecen la labor si se hacen los hoyos con ahoyadora.

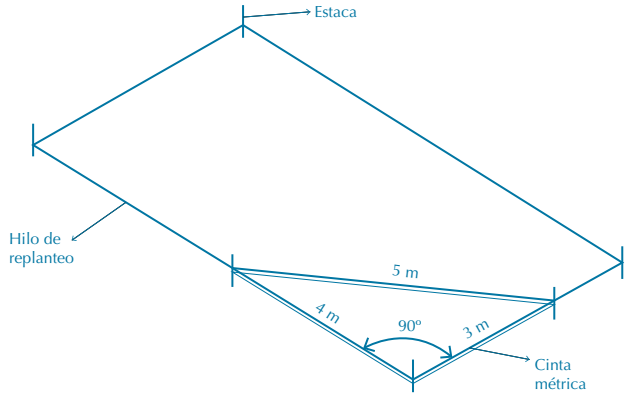


Figura 7.6
Trazado de un ángulo recto usando cuerdas proporción 3:4:5.

B) Siembra en semilleros

Es de gran importancia elegir el *momento de siembra y la forma de realizarla*. Los factores que determinan una germinación adecuada, si no hay letargo, son el clima, la vegetación y

cubierta de origen vegetal, el tipo de suelo, la profundidad a la que se encuentran las semillas en el suelo, la humedad, la temperatura, el oxígeno y la luz. Se puede diferenciar dos sistemas de siembra:

1. *Siembra directa o de asiento:* las semillas se siembran en el mismo sitio donde se va a desarrollar el cultivo.
2. *Siembra en semilleros:* las semillas se siembran en un lugar donde están protegidas. La siembra es normalmente en bandejas de alveolos, pero también puede realizarse en eras de cultivo preparadas con el sustrato adecuado, de esta forma se obtienen los plantones que luego se trasplantan al sitio definitivo. Este sistema presenta una serie de ventajas:

   a) Mayor aprovechamiento del espacio y el ciclo de cultivo se acorta, ya que se pueden hacer las siembras antes de lo que se harían en el lugar definitivo.
   b) Las semillas germinan con mayor facilidad y se pueden sembrar especies de germinación costosa.
   c) Mayor eficacia en el uso del agua de riego.
   d) Mayor uniformidad en el crecimiento.
   e) Mayor facilidad en el control de adventicias.

Los tipos de siembra que se practican en la actualidad son:

1. *Siembra a voleo*. Las semillas se esparcen más o menos uniformemente sobre una superficie determinada. Puede tratarse de una siembra directa o bien en una era de vivero o zona de pasto. Este tipo de siembra se puede realizar de una forma manual o mecánica. Existen sembradoras a voleo de dos tipos: centrífugas y de descarga libre, en ambos casos hay desde muy sencillas, de uso manual, hasta mecanizadas y muy sofisticadas.
2. *Siembra en líneas o a chorrillo.* Se depositan, de manera continua, las semillas en surcos abiertos previamente. Las especies que admiten este tipo de siembra suelen ser de granos (cereales, leguminosas). En este tipo de siembra la máquina incluye tanto los elementos que se encargan de la apertura del surco como del tapado de las semillas. También se puede hacer de forma manual con herramientas más sencillas.
3. *Siembra de precisión*. En este tipo de siembra se utiliza maquinaria que se calibra para dejar la semilla a la distancia y profundidad requeridas de una forma muy exacta. Puede ser mediante siembra a golpes, se van colocando grupos de semillas o siembra monograno (semillas individuales).

Actividad propuesta 7.7

En una parcela de 1500 m^2 se quiere realizar una plantación de un cultivo asociado de col y lechuga. La distribución será en marco de plantación rectangular, intercalando una hilera de lechugas con una hilera de coles. El marco de plantación será de 50 cm entre líneas, 33 cm entre lechugas y 66 cm entre coles. ¿Cuántos plantones de cada especie se necesitan?

Ejercicio resuelto 7.1

Se va a realizar una siembra de nabos con sembradora de precisión monograno, dejando una semilla por golpe. El marco de plantación se encuentra entre 35-40 cm entre líneas y 10-25 cm entre plantas. El peso de 1000 semillas es de 1,6 g. Calcula el mayor y menor gasto de semillas, y la mayor y menor densidad de plantas, según los valores recomendados para el marco de plantación.

Menor marco de plantación y mayor densidad de plantas:
0,35 × 0,1 = 0,035 m^2/planta
10 000/0,035 = 285 714 plantas/ha
(285 714/1000) × 1,6 = 457 g/ha = 0,46 kg/ha de semillas

Mayor marco de plantación y menor densidad de plantas:
0,40 × 0,25 = 0,1 m^2/planta
10 000/0,1 = 100 000 plantas/ha
(100 000/1 000) × 1,6 = 160 g/ha = 0,16 kg/ha de semillas

C) Plantación

Si se adquieren los plantones a raíz desnuda, el momento de latencia es el idóneo para su transporte, esto es entre los meses de noviembre y marzo, según zonas. La plantación suele realizarse cuando los árboles se encuentran en estado latente, evitando épocas de helada y suelos encharcados o sequías. Los plantones una vez recibidos y antes de ser plantados se deben proteger de la desecación, poniéndolos en suelo húmedo.

En el caso de tener que guiar las plantas, lo que ocurre en zonas muy expuestas al viento, esto se puede realizar mediante el uso de estacas de madera, tutores metálicos, bambú, etc. Es conveniente colocar los tutores antes de plantar el árbol, ya que si se hace después, se pueden dañar las raíces y compactar el suelo. Cuando los plantones se atan a sus tutores, no debe apretarse excesivamente la atadura para evitar el anillado posterior del tronco.

La apertura de hoyos se puede hacer de forma manual, dejando un hoyo en el que quepa el sistema radical, al que se ha hecho una poda ligera eliminando raíces dañadas y demasiado largas. También se puede hacer de manera mecanizada con ahoyadoras de diferentes tamaños. En plantaciones intensivas, se habrá hecho una zanja previamente para alinear la plantación, con lo cual solo habrá que ensanchar y profundizar el lugar señalado para los árboles.

Es conveniente plantar el árbol justamente a la misma profundidad a la que se encontraba en el vivero, ya que puede producirse desecamiento de raíces o franqueamiento de las raíces de la variedad.

Las raíces se deben colocar bien distribuidas, cuidando rodearlas uniformemente de tierra. Una vez plantado se presiona el suelo con mucho cuidado de no compactar excesivamente. Cuando se ha terminado la plantación se realiza un alcorque que permita el riego de implantación y sucesivos.

7.3.4. Entutorados y espalderas

El *entutorado* consiste en la colocación de guías (cañas, cuerda, mallas) vertical u horizontalmente para mantener la verticalidad de la planta y ayudarla a soportar el peso de los frutos.

Determinadas hortalizas, como las judías, tienen una configuración morfológica que necesita la utilización de tutores para conseguir un adecuado desarrollo. En otros casos, como el del tomate, melón, pimiento, berenjena... se recurre a los entutorados para conseguir un mayor desarrollo en verticalidad, un mejor aprovechamiento del suelo, una mayor productividad y, en algunos casos, una mayor calidad. En cultivo bajo invernadero se emplean con mucha asiduidad cuerdas o cintas plásticas que penden de cerchas o alambres, para hortalizas.

Figura 7.7
Cultivo de tomate entutorado.
Fuente: Díaz, R.

Una forma de sujeción puede ser de manera que, conforme la planta va creciendo se va liando o sujetando al hilo tutor mediante anillas, hasta que la planta alcance el primer alambre. A partir de aquí la planta sigue creciendo hasta otro alambre situado en paralelo al anterior.

El sistema de sujeción en *espaldera* se utiliza para árboles poco vigorosos. Determinados sistemas de formación lo requieren para apoyar el tronco y las ramas principales. La instalación de la espaldera se debe realizar previa a la plantación de los árboles y posterior al replanteo. Los componentes principales de una espaldera son postes, alambres y tensores. Los postes pueden ser de hormigón, granito, hierro, tubo galvanizado o madera. Los alambres pueden ir colocándose progresivamente, instalando cada año una fila de ellos, empezando por la línea inferior, que servirá de soporte a las primeras ramificaciones. En el caso de la vid, sobre el tronco de la cepa salen dos ramas que crecen en el sentido del alambre, es decir, perpendiculares al crecimiento de la cepa.

Figura 7.8
Vid en espaldera.
Fuente: Pérez, D.

Con esta formación se consigue una mayor aireación y exposición solar, lo que tiene como resultado un aumento en la fotosíntesis, una mayor uniformidad de la fruta y una disminución de las enfermedades criptogámicas. Por otro lado, facilita las operaciones de mantenimiento del cultivo y la recolección, que se pueden mecanizar.

7.3.5. Labores en las primeras etapas del cultivo

Una vez realizada la siembra o plantación es necesario realizar una serie de labores imprescindibles para conseguir un buen arraigo de las plantas. Estas labores pueden llevarse a cabo inmediatamente después de la siembra o plantación, en horas o días posteriores.

Los *riegos de implantación,* una vez realizado el trasplante de hortícolas, son fundamentales, y con mayor motivo si se realiza a raíz desnuda. En frutales el primer riego es importante también para el buen anclaje y desarrollo de los árboles. En el caso de no tener el riego en superficie, se realiza con cubas (pueden utilizarse las de los tratamientos fitosanitarios) para regar en las cubetas realizadas a los árboles. En este caso se pueden producir asentamientos del terreno, por tanto hay que revisar para ver si se han hundido demasiado. Si así fuera, debe tirarse hacia arriba de los árboles para ponerlos al nivel original y apisonar la tierra alrededor, asegurando que queden anclados.

La *reposición de marras* consiste en sustituir las plantas que han fallado una vez realizado el trasplante. Estos fallos pueden ser debidos a diversas causas como la calidad de los plantones, aunque normalmente se producen por condiciones meteorológicas adversas como altas temperaturas, vientos secos, heladas... En el caso del trasplante, el número de marras es mayor si se realiza a raíz desnuda. Normalmente en secano se producen más marras que en regadío.

Para realizar la reposición de marras debe haberse añadido un porcentaje de más al cálculo de las plantas necesarias. En el caso de hortícolas, en ocasiones, las marras son muy evidentes al poco tiempo del trasplante, pero lo normal es esperar unos seis días para comprobar el arraigo. En el caso de frutales, antes de la brotación de primavera, si se ha hecho la plantación en otoño o invierno. En ambos casos la reposición debe hacerse cuanto antes para evitar retrasos. Porcentajes en torno a un 2-3 % de marras se pueden considerar normales.

En estas primeras etapas es conveniente realizar un *control de adventicias,* eliminando las cercanas a las plantas para evitar pérdidas de plantones y retrasos en el desarrollo, por la competencia que ejercen con el propio cultivo.

En la implantación de frutales se hace necesaria, en ocasiones, la *protección de las plantas* mediante protectores tubulares, que suelen ser de propileno blanco. De esta forma se protege la planta frente a pequeños animales silvestres como liebres o roedores y factores climáticos como el viento, las heladas y la excesiva insolación. También protegen de los herbicidas. En el caso de que se esperen bajas temperaturas, se pueden utilizar mallas protectoras.

Figura 7.9
Manta térmica sobre plantación de cultivos hortícolas.

Cuando los árboles son jóvenes, no tienen suficiente follaje que les cubra de la insolación directa, una forma de evitar las quemaduras es realizar un *encalado* de los troncos.

Las *mantas térmicas antiheladas* están formadas por un tejido o geotextil de polipropileno con tratamiento UV, ligero y permeable, que se utilizan sobre todo en horticultura, aunque también en fruticultura y viveros, colocándose directamente sobre el cultivo. Aumentan la temperatura entre 6 y 7 °C, evitan que el rocío de la mañana moje las plantas y, también, el ataque de animales. Se utiliza también en invernaderos como doble techo, evitando el goteo de los plásticos.

7.4. Infraestructuras para el forzado de cultivos

En una finca se pueden utilizar *instalaciones de forzado de cultivos* con el objetivo principal de cultivar especies (fundamentalmente hortícolas y ornamentales) fuera de temporada y comercializarlas cuando los precios son más favorables o bien para producir en lugares donde, por sus condiciones climáticas, no se pueden desarrollar. Las estructuras que se emplean para el forzado de cultivos son los acolchados, los umbráculos, los túneles y los invernaderos.

7.4.1. Acolchados

El *acolchado* es el sistema de forzado más sencillo y antiguo. La técnica consiste en formar bancales o lomos de cultivo en el suelo, instalando el sistema de riego localizado de alta frecuencia en su caso y cubriendo todo con un material, siendo el más utilizado el PE agrícola de color negro con un espesor de 120 a 200 galgas. Sobre el plástico se practican una serie de oquedades en las que se realiza la plantación. El film puede estar microperforado para evitar la condensación de agua bajo su superficie.

El acolchado se realiza para reducir las plantas adventicias, la pérdida de humedad y el enfriamiento del suelo, aumentando la precocidad, el aumento de la producción y la calidad.

Figura 7.10
Cultivo de col acolchado con PE negro.

Figura 7.11
Umbráculo de pequeño tamaño.

La instalación del acolchado se realiza de forma sencilla mediante aperos acoplables al tractor, que extienden el plástico al mismo tiempo que entierran los laterales, para que no se vuelen. Sin embargo, uno de los principales inconvenientes que presentan los acolchados son los derivados de las tareas de retirada de los plásticos una vez finalizado el cultivo (solo duran una campaña). Además del coste en mano de obra, hay que transportar el material retirado a vertedero. Con frecuencia quedan muchos residuos plásticos en el terreno, por ello, como alternativa a este problema se están utilizando nuevos materiales, como papel (se rompe con facilidad), plásticos fotodegradables a base de celulosa o almidón (se degradan con demasiada rapidez) o cubiertas vegetales como la paja de cereal (es difícil mantener la cubierta homogénea y contienen semillas que pueden germinar).

7.4.2. Umbráculos

Los *umbráculos* son instalaciones formadas por una estructura ligera diseñada para soportar una cubierta de malla permeable (malla de sombreo o malla monofilamento). La estructura, de cubierta plana o curva es normalmente de acero galvanizado con uniones mediante tornillos. La cubierta se sujeta mediante un sistema de alambres por encima y por debajo de la misma, que garantizan su fijación a la estructura.

El uso de los umbráculos está orientado a climas no extremos, siendo su objetivo principal proteger del exceso de luz solar a los cultivos sensibles. Sirven de zonas de aclimatación a las condiciones exteriores para las plantas propagadas en invernadero. Su uso también puede estar motivado para evitar o reducir los daños producidos por insectos, enfermedades, vientos, lluvias o granizo.

Los umbráculos son estructuras de montaje e instalación fáciles y con un bajo coste, en comparación a los invernaderos. Admiten cierta mecanización, como la instalación de sistemas de riego automáticos o sistemas de extendido y recogida de la malla según las condiciones de luz. La malla es la que aporta la clave en el control climático, por tanto, la elección del tipo de malla es el aspecto más importante.

7.4.3. Túneles

Los *túneles* son construcciones sencillas compuestas por una serie de arcos metálicos que van cubiertos con una lámina plástica. Se instalan sobre el cultivo, principalmente en las primeras fases de su desarrollo vegetativo, con el objetivo de protegerlo de condiciones climáticas adversas, algunas plagas y enfermedades, y conseguir la precocidad del mismo. Los túneles pueden ser retirados para que el cultivo siga su ciclo al aire libre. Existen dos tipos de túneles:

1. *Microtúneles*. Estructuras formadas por arquillos metálicos que cubren un solo lomo. Los arcos son generalmente perfiles redondos de hierro galvanizado con 6-8 mm de diámetro y con una longitud de 2 m.
2. *Macrotúneles.* Estructuras que cubren varios caballones (normalmente entre 5 y 10, en función del cultivo y la zona). Se instalan arcos de acero galvanizado con una longitud de 6-8 m y una altura total de unos 3 m. Permiten un espacio de trabajo

cómodo y una mayor protección al cultivo. Son muy empleados en el cultivo de fresa y fresón.

Para instalar los túneles, primero se realizan las operaciones de preparación del terreno y, posteriormente, se trazan los lomos o surcos en el lugar donde se van a instalar los arcos. Una vez instalados los arcos, se extiende el plástico y se fija con alambres.

El control de la temperatura en los microtúneles se realiza a través de la ventilación, evitando la acumulación de calor y la condensación de humedad en su interior, que se produce cuando la diferencia de temperaturas entre ambos lados del plástico es elevada. La ventilación debe llevarse a cabo por la parte soleada del túnel, levantando los plásticos por tramos. Hay un tipo de túneles en los cuales la ventilación se realiza mediante orificios cada dos o tres metros. Para el control de clima en los macrotúneles, se retira el plástico de los extremos del túnel permitiendo la renovación de aire por la formación de corrientes.

7.4.4. Invernaderos

Los *invernaderos* permiten un control más completo de algunos parámetros como la temperatura ambiental, la temperatura del suelo, la humedad relativa, la incidencia de la luz o la cantidad de dióxido de carbono en el aire, ya que son estructuras fijas de mayor tamaño y espacio interior.

La estructura de los invernaderos puede construirse con diversos materiales, que deben seleccionarse por su vida útil, ligereza, precio y adaptación a los materiales de cubierta. Así, hay estructuras de madera (como en los invernaderos de tipo parral), de perfiles de hierro galvanizado o sin galvanizar o de perfiles de hormigón, que son los que presentan una mayor resistencia y durabilidad.

Los materiales de cubierta que se usan en los invernaderos son *plásticos flexibles*: polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC), copolímero EVA y polipropileno; *placas semirrígidas*: policarbonato, poliéster, PVC y polimetacrilato de vinilo; o *materiales rígidos* como el vidrio.

Como cimentación de la estructura puede emplearse un muro perimetral o bloques independientes de apoyo. En numerosos casos, la cimentación se refuerza con un sistema de anclaje mediante cables.

A) Tipos de invernaderos

Existe una amplia tipología de invernaderos. A continuación se enumeran los tipos más comunes en función de la estructura que da forma a su cubierta.

1. *Invernaderos con cubierta plana.* Presentan poca ventilación, poco volumen de aire y evacuan mal el agua de lluvia. Por otra parte, son económicos y presentan una buena resistencia al viento. Los de tipo *parral* están muy extendidos en el sureste español y se construyen con rollizos de madera o tubo galvanizado en pies derechos y pies inclinados en la periferia, sujetando la cubierta con alambre galvanizado. Son muy económicos, pero de ventilación deficiente, no soportan bien la lluvia, no son herméticos y dependen del empleo exclusivo de láminas de plástico flexible que se agujerean para sujetar el alambre.

2. *Invernaderos de tipo capilla.* Con tejado a una o dos aguas. Son fáciles de construir, adaptables, se ventilan y evacuan el agua de forma óptima. Permiten colocar varias naves en batería (aunque limitando su ventilación). La estructura limita el espacio interior y el aprovechamiento de la luz.
3. *Invernaderos de tipo túnel.* Con estructura de pilares rectos y arcos metálicos para la cubierta. Son invernaderos diáfanos, con elevada transmisión de luz solar. Se adaptan a materiales de cubierta tanto flexibles como rígidos, presentan una buena resistencia al viento (mejor que los de capilla) y permiten un buen control de la temperatura.

SABÍAS QUE...?

Las estructuras de los invernaderos se consideran desmontables, por lo que no se les aplica el Código técnico de la edificación sino la normativa europea EN 13031-1:2002 (Invernaderos, proyecto y construcción) Parte I: Invernaderos para producción comercial.

B) Control ambiental en los invernaderos

El *control ambiental* es uno de los aspectos fundamentales que debe considerarse en el cultivo bajo invernadero. Los cuatro factores ambientales que se regulan son la temperatura, la humedad relativa, la luz y la concentración de CO_2.

Todos los sistemas que sirven para modificar el ambiente o mantener sus características y que se instalan en el invernadero (calefacción, ventilación, fertilización carbónica, iluminación, humidificación...) deben manejarse de forma adecuada para conseguir una producción en cantidad y calidad óptima, siempre bajo criterios económicos. Ello se consigue instalando, mecanizando y automatizando los elementos de control del clima. Estos sistemas se basan en el empleo de un ordenador central al que se conecta un conjunto de sensores, los cuales recogen las variaciones de los distintos parámetros con respecto a unos valores programados inicialmente. Se hace necesaria la instalación de una estación meteorológica que recoja y registre los valores de temperatura exterior e interior, humedad relativa, velocidad del viento, iluminación, etc. Los sensores o automatismos se distribuyen en diferentes sectores del invernadero, pudiendo funcionar cada uno de forma autónoma. En el controlador central se recoge la información captada por los sensores, se coordinan las actuaciones y se envían las órdenes de accionamiento a los distintos sectores.

RECURSO ELECTRÓNICO 7.4

En el anexo web 7.4, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre los sistemas de control ambiental en los invernaderos (sistemas de ventilación, calefacción, sombreo, refrigeración, humidificación, iluminación suplementaria y fertilización carbónica).

Para saber más

En el sector agrícola se genera una gran cantidad de residuos plásticos, sobre todo los destinados a la protección de los cultivos. Estos, al ser considerados residuos agrícolas, no son competencia de gestión por parte de las entidades locales.

La retirada y gestión de los plásticos del campo es una cuestión que se debe abordar en una agricultura pretendidamente sostenible. En una economía circular estos residuos podrían reciclarse con el objetivo de valorizarlos fabricando otros productos.

Las empresas agrarias pueden recurrir a gestores autorizados para la retirada y tratamiento de estos residuos. Sin embargo, muchos de estos plásticos, sobre todo los que se utilizan en acolchados, son incorporados al suelo mediante el laboreo una vez ha acabado la campaña, con los perjuicios que esto supone.

Resumen

- Para la selección de especies y variedades de cultivo es necesario conocer sus necesidades edafoclimáticas, sus exigencias en nutrición y sus ciclos de cultivo. La implantación de cultivos en rotaciones y asociaciones permite cultivar de manera más sostenible, sobre todo en relación con la sanidad vegetal y la nutrición de las plantas, permitiendo un mejor aprovechamiento de las características agronómicas de diferentes cultivares. Los cuidados del material de reproducción vegetal en el periodo que rodea la implantación de los cultivos son cruciales para la consecución de plantaciones rentables. Las instalaciones de forzado permiten cultivar en zonas y épocas donde sería difícil hacerlo al aire libre. De ellas, los invernaderos, los umbráculos y los túneles son instalaciones cubiertas y protegidas con materiales que permiten defender a las plantas de la acción de agentes atmosféricos del exterior. Los acolchados son sistemas más simples. Los invernaderos, por el contrario, son los que permiten un mayor control climático y automatización.

Supuesto práctico

Se quiere realizar una rotación de hortícolas en una huerta situada a las afueras de Valencia, con suelo arenoso, de regadío, con 15 000 m^2 de superficie, que comprenda los siguientes cultivos: chufa, patata temprana y semitemprana, alcachofa y cebolla.

Estudia los periodos de cultivo y completa la rotación con algunos cultivos mejorantes (leguminosas y crucíferas).

Actividades de autoevaluación

1. Para que se produzca el ahijamiento en los cereales de invierno es necesario:
   - ☐ *a)* La presencia de temperaturas elevadas.
   - ☐ *b)* La presencia de una alta humedad relativa.
   - ☐ *c)* La presencia de bajas temperaturas.
   - ☐ *d)* El estrés hídrico producido por la sequía.

2. Las especies hortícolas de alcachofa y coliflor:
   - ☐ *a)* Son cultivos de los meses más fríos.
   - ☐ *b)* Son cultivos de meses cálidos.
   - ☐ *c)* Forman parte de las rotaciones de huerta.
   - ☐ *d)* No pueden incluirse en la misma rotación de cultivos.

3. Para que los frutales tengan una idónea floración:
   - ☐ *a)* Es necesario que reciban una cantidad máxima de horas-frío.
   - ☐ *b)* Es necesario que reciban una cantidad mínima de horas-frío.
   - ☐ *c)* Es necesario que reciban una cantidad media de horas-frío.
   - ☐ *d)* No es necesario que reciban ninguna cantidad de horas-frío.

4. En las rotaciones de cultivo se denomina *alternativa* a:
   - ☐ *a)* La sucesión de cultivos en el tiempo en una misma parcela.
   - ☐ *b)* Cada una de las parcelas en las que se divide la finca y que tiene un cultivo diferente en la rotación.
   - ☐ *c)* La distribución espacial de los cultivos en un momento determinado.
   - ☐ *d)* El cultivo que forma parte de la sucesión.

5. Las labores durante las primeras etapas de cultivo tras el trasplante y la plantación son:
   - ☐ *a)* La reposición de marras.
   - ☐ *b)* El pase de subsolador.
   - ☐ *c)* Los riegos de implantación.
   - ☐ *d)* Los entutorados.

SOLUCIONES:

1. a b **c** d **2.** **a** b **c** d **3.** a **b** c d **4.** a b **c** d **5.** **a** b **c** d

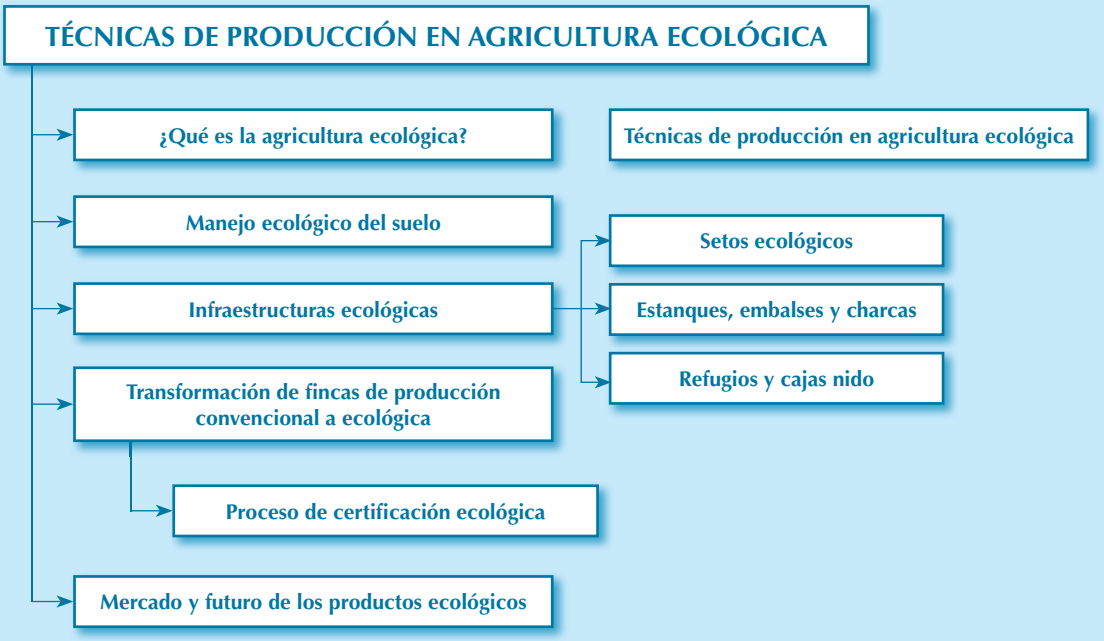
8

Técnicas de producción en agricultura ecológica

Objetivos

- ✓ Conocer las técnicas de producción en agricultura ecológica y la normativa que la regula.
- ✓ Analizar la normativa para la transformación de explotaciones convencionales a ecológicas.
- ✓ Seleccionar e implantar infraestructuras ecológicas en la finca agrícola.
- ✓ Interpretar el proceso de certificación ecológica y su importancia.
- ✓ Estudiar el mercado y las tendencias de consumo de los productos ecológicos.

Mapa conceptual



Glosario

Desbrozadora manual. Máquina empleada en trabajos de agricultura, jardinería o deforestación para eliminar vegetales diversos que no posean elementos leñosos de gran resistencia.

OMG. Siglas correspondientes a organismo modificado genéticamente. Es un organismo cuyo material genético ha sido alterado usando técnicas de ingeniería genética. Esa alteración puede consistir en adición, silenciamiento o sobreexpresión de genes.

Operador. Persona física o jurídica responsable de asegurar el cumplimiento de los requisitos del Reglamento (CE) 834/2007, en la empresa ecológica que dirige.

Organismo transgénico. Tipo de OMG que contiene uno o varios genes procedentes de especies diferentes a la suya.

Subsolador. Arado apto para trabajar en suelos profundos con el fin de romper las capas endurecidas.

Trazabilidad. Posibilidad de encontrar y seguir el rastro, a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o una sustancia destinados a ser incorporados en alimentos o piensos o con probabilidad de serlo.

Variedad local. Población de una especie de cultivo visiblemente diferente en su composición genética con respecto a otras poblaciones de su misma especie, y que es producto de una selección realizada por los propios agricultores, basada en la respuesta adaptativa a las condiciones locales.

8.1. Introducción

La creciente industrialización de la agricultura de las últimas décadas, basada un amplio uso de productos fitosanitarios, cuyas consecuencias medioambientales son cada vez más evidentes, sumada a los cada vez más frecuentes trastornos alimentarios que está desarrollando la población, ha provocado que exista una preocupación cada vez mayor por cómo son cultivados los alimentos, los residuos que contienen y el origen de los mismos.

8.1.1. Definición

La *agricultura ecológica (AE)* se puede definir como un "conjunto de técnicas agrarias en las que normalmente se excluye el uso de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, etc., con el objetivo de preservar el medioambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales" (MAGRAMA, 2016). Actualmente la producción ecológica se encuentra regulada por el Reglamento (CE) 834/2007. En producción ecológica está asimismo excluido el uso de organismos modificados genéticamente (OMG), como son los organismos transgénicos.

La producción vegetal ecológica se basa en el uso de técnicas respetuosas con el equilibrio del agroecosistema, que favorezcan la biodiversidad y con ella su resiliencia, lo que se concreta en aspectos como:

a) El mantenimiento o la mejora de la fertilidad del suelo y de los procesos biológicos que tienen lugar en el mismo.
b) La prevención de plagas y enfermedades, más que su tratamiento, aprovechando los mecanismos de regulación existentes en la naturaleza.
c) El uso de semillas y materiales de reproducción vegetativa producidos ecológicamente.

Recuerda

✓ Según indica el Comité de Agricultura Ecológica de la Comunidad Valenciana, a través de la práctica de esta agricultura se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Producir alimentos de máxima calidad, sanitaria y organoléptica.
- Preservar la seguridad alimentaria.
- Ser medioambientalmente sostenible y económicamente rentable.
- Favorecer el desarrollo rural.

- Trabajar de forma integrada con los ecosistemas.
- Aumentar o mantener la fertilidad de los suelos.
- Emplear al máximo los recursos renovables y locales.
- Evitar las formas de contaminación que puedan resultar de las técnicas agrarias.
- Mantener la diversidad genética del sistema agrario y de su entorno.

Puedes consultar más información en la página web de dicho organismo (www.caecv.com).

Actividad propuesta 8.1

Busca información para contestar a las siguientes cuestiones:

a) La agroecología plantea tres principios básicos de manejo de los recursos naturales para evitar su deterioro:

1. Principio de diversidad.
2. Principio de reciclaje de materia y energía.
3. Principio de control biológico natural.

Explica en qué consiste cada uno de ellos.

b) ¿Qué diferencia hay entre los OGM y los organismos transgénicos?

8.1.2. Técnicas de producción en agricultura ecológica

En agricultura ecológica se utilizan una serie de técnicas de cultivo que favorecen la biodiversidad y el equilibrio de los ciclos de materia y energía, como son:

1. *Asociación de cultivos:* favoreciendo la biodiversidad simultánea en el espacio, aprovechando mejor la tierra y el agua, actuando como cebo o repelente para determinados insectos y reduciendo el riesgo de plagas y enfermedades.
2. *Rotación de cultivos:* indispensable para mantener la fertilidad de los suelos al evitar el agotamiento progresivo de los nutrientes por la reiteración del mismo cultivo, introducir biodiversidad en el tiempo, prevenir plagas y enfermedades, así como la proliferación de plantas arvenses que se asocian a un determinado cultivo, etc.
3. *Abonado orgánico:* adición de estiércol, compost u otros fertilizantes orgánicos, abonos verdes, fertilización mineral de origen natural, acolchado con productos orgánicos, favoreciendo la actividad biológica del suelo y su fertilidad.
4. *Manejo de la vegetación espontánea:* considerando a la flora arvense como un componente más del agroecosistema que realiza importantes funciones. La vegetación espontánea actúa como estabilizador del suelo evitando la erosión, crea microclimas favorables para los microorganismos del suelo, suministra materia orgánica, recicla nutrientes y constituye hábitats adecuados para insectos, aves, etc., que juegan un importante papel en el control biológico. Las *principales técnicas* utilizadas para el control de la vegetación son los métodos mecánicos como el desbroce, la rotación de cultivos, el pastoreo, el control térmico mediante quemadores, etc., nunca se utilizan herbicidas químicos.

5. *Control de plagas, enfermedades y su prevención:* la mayoría de las plagas y enfermedades de los cultivos se pueden prevenir con diferentes técnicas:

   a) *Empleando variedades locales*, ya que están mejor adaptadas al medio y son más fuertes frente a plagas y enfermedades.
   b) *Manteniendo la biodiversidad,* para que haya un equilibrio ecológico entre las especies tanto animales como vegetales, estableciendo vegetación natural autóctona.
   c) *Utilizando medios físicos y trampas,* control biológico y tratamientos con productos vegetales y minerales autorizados.

6. *Elección de especies y variedades locales:* el uso de variedades locales garantiza una adaptación del cultivo al entorno. Son variedades de elevada rusticidad que tienen una mayor resistencia al clima, plagas, enfermedades, condiciones de suelo, etc., y normalmente forman parte de la cultura gastronómica de la zona.
7. *Integración animal:* la presencia de ganado en la misma finca permite el aprovechamiento de residuos de cultivo para su alimentación, mientras que sus deyecciones pueden utilizarse para la fertilización. Contribuyen, asimismo, a la limpieza de vegetación adventicia, insectos, etc.

Figura 8.1
Cultivo asociado de col y lechuga.
Fuente: Pérez, A. I.

Para saber más

La práctica de la agricultura ecológica consiste, en ocasiones, en la denominada *agricultura de sustitución de insumos,* que actúa de la misma forma que la agricultura convencional, esperando a que aparezca un problema para tratarlo de una forma puntual con un producto comprado en el exterior de la finca. Por lo tanto, reemplaza insumos ecológicamente dañinos por otros más respetuosos con el medioambiente, generalmente de un coste más elevado. De esta manera el agricultor sigue siendo totalmente dependiente de las empresas de agroquímicos y no se hace un análisis global como en el caso de la agroecología.

En el siguiente artículo de investigación de SOCLA puedes encontrar un cuadro comparativo con las características de los tres sistemas de producción: convencionales, de sustitución de insumos y agroecológicos.

8.2. Manejo ecológico del suelo

El *estado del suelo* es un pilar básico en la agricultura ecológica. Mantener e incrementar su fertilidad es una de las prioridades en el manejo de los cultivos, evitando con ello la pérdida de elementos fértiles por lavado del suelo, manteniendo el nivel de humus y la actividad y diversidad biológicas mediante el aporte de abonos orgánicos, así como la incorporación de restos de cultivo y el uso de abonos minerales naturales de solubilización lenta y abonos verdes, tal como se ha explicado en el capítulo 5.

Con respecto al laboreo, en agricultura ecológica se pueden indicar como principios básicos los siguientes:

a) Realizar labores superficiales y evitar el uso de aperos como el arado de vertedera para no hacer inversión de los horizontes.
b) Evitar la compactación del terreno.
c) Realizar las labores en el estado de tempero adecuado.
d) Evitar maquinaria pesada.
e) Usar aperos combinados para evitar un gran número de pasadas.

Los *aperos* que pueden ser utilizados en agricultura ecológica, por su bajo peso, y porque además se adaptan al trabajo en parcelas de tamaño pequeño, son *el motocultor y la motoazada*. El motocultor es más pesado que la motoazada y permite el acople de otros aperos. Al utilizar esta maquinaria con fresadoras se puede provocar suela de labor, con lo que cada cierto tiempo hay que realizar una labor más profunda.

En el caso en que se tenga que descompactar el suelo, se puede recurrir a subsoladores, arados chisel y cultivadores, evitando así la inversión de capas.

En parcelas de mayor tamaño y cultivos extensivos, se hace necesaria una mayor mecanización, con la incorporación de tractores de diversos tipos, según las labores que haya que realizar. El orden en que pueden realizarse las labores es el siguiente:

1. En caso de ser necesaria una labor más profunda que elimine suela de labor, se utiliza el subsolador o el chísel, que favorecen la aireación y el drenaje
2. A continuación, el cultivador deja el terreno en condiciones para preparar el lecho de siembra.
3. Por último, se usa una fresadora que deja el terreno preparado para la siembra o para el pase de una acaballonadora, en su caso.

En cultivos como vid, olivo y almendro, el cultivador se puede utilizar entre líneas para mejorar la aireación y favorecer la infiltración del agua en el terreno.

Una forma de proteger el suelo de la erosión provocada por los agentes climáticos es tener el suelo cubierto por algún tipo de *cubierta*. Esta cubierta puede ser los restos de poda triturados, los restos del cultivo anterior o piedras (en caso de suelos pedregosos), lo que también favorece el mantenimiento de la humedad.

Figura 8.2
Cultivo de cítricos con cubierta vegetal.
Fuente: Pérez, A. I.

Figura 8.3
Tractor con desbrozadora.

El mantenimiento de *cubiertas vegetales* favorece la actividad microbiana, protege al suelo de la erosión y, en caso de siega e incorporación, se produce el aporte de elementos nutritivos y la formación de humus.

Las cubiertas vegetales se pueden segar y dejar sobre el terreno mediante el uso de desbrozadoras manuales o acopladas a la toma de fuerza del tractor. El hecho de desbrozar los restos favorece y acelera su degradación. Por otro lado, este material vegetal se puede incorporar mediante una grada o fresadora, siempre pasado un tiempo después de la siega, no siendo recomendable hacer una incorporación del material fresco. Posteriormente, se puede hacer un pase de subsolador para facilitar el drenaje y la aireación.

Como ya se ha mencionado, mantener una cubierta vegetal es lo más aconsejable, ya que las raíces de las plantas hacen un laboreo natural. Las cubiertas vegetales necesitan de un manejo adecuado. Por ejemplo, en zonas con escasas lluvias y veranos muy calurosos, pueden competir por el agua con los propios cultivos. En estos casos hay que elegir las épocas en las que pueden mantenerse y los momentos en que se deben retirar.

8.3. Infraestructuras ecológicas

Las infraestructuras ecológicas son una serie de elementos que, si bien no son directamente productivos, aportan servicios al agroecosistema. Se consideran *infraestructuras ecológicas* los cultivos colindantes, las zonas no cultivadas, los cursos de agua, los muros de piedra y los elementos de la finca como setos, nidos para aves y murciélagos, y los refugios para insectos.

8.3.1. Setos ecológicos

Los setos son espacios con vegetación permanente como pueden ser alineaciones de árboles, arbustos y herbáceas, donde también crece vegetación espontánea. Generalmente, se sitúan en los lindes de las parcelas de cultivo, en los terraplenes o siguiendo los cursos de agua que atraviesan la finca.

Estos elementos sirven para proteger al cultivo del viento o de las contaminaciones por productos fitosanitarios, reducir la erosión del suelo e incrementar la presencia y acción de la fauna auxiliar.

RECUERDA

✓ Las principales funciones de los setos son:

- Protección del suelo frente a erosión hídrica e inundaciones, ahorro de agua.
- Protección frente a la erosión eólica y vientos salinos.
- Regulación de las oscilaciones térmicas.
- Refugio para la fauna auxiliar.
- Protección frente a la contaminación por deriva.
- Reciclado de nutrientes.
- Polinización.
- Aprovechamientos diversos (fruta, alimento y cerramiento del ganado, varas…).

En los sistemas de monocultivo sin setos, los enemigos naturales especialistas o monófagos desaparecen cuando la plaga es exterminada. Por tanto, cuando de nuevo se introduce el cultivo y comienza a aparecer la plaga, el control por estos enemigos naturales es mucho más lento e inefectivo, ya que no están presentes previamente en la finca.

Los setos proporcionan a parásitos y depredadores refugios para pasar el invierno, reproducirse y protegerse del viento y de las condiciones climáticas adversas. En ocasiones la fauna auxiliar se protege bajo las piedras, entre la hojarasca, agujeros en el suelo, donde encuentran mayor humedad y no son eliminados por el laboreo. Desde los setos pueden desplazarse hacia el cultivo cuando este es establecido.

CUADRO 8.1
Funcionalidad de los setos con respecto a enemigos naturales

Especie del seto	Cultivo beneficiado	Enemigos naturales favorecidos
Alnus glutinosa (aliso)	Peral	Antocóridos, míridos, sírfidos, crisopas
Laurus nobilis (laurel)	Peral	Antocóridos (depredadores de psila)
Vaccinium spp. (arándano) *Crataegus spp.* (majuelo) *Cornus spp.* (cornejo)	Manzano	Bracónidos que controlan la mosca del manzano (*Rhagoletis pomonela*)
Corylus avellana (avellano)	Varios	Anticóridos, míridos, sírfidos, crisopas
Ficus carica (higuera)	Viña	Parasitoides de ácaros y pulgones
Celtis australis (almez)	Varios	Depredadores de ácaros

Fuente: adaptado de Guzmán, G. y Alonso, A., 2008.

Las especies vegetales que se emplean como setos herbáceos suelen ser plantas adventicias o cultivos. Se suelen sembrar semillas de varias especies (20 o 30) para generar biodiversidad (plantas de distinta altura, anuales y perennes, con distinto momento de floración).

Las familias de las umbelíferas (por ejemplo, hinojo, anís, cilantro, apio, perejil, eneldo, etc.), las compuestas (manzanillas, margaritas, achicoria, cardos, etc.) y las leguminosas, son especialmente exitosas para estimular la presencia de enemigos naturales.

Entre los efectos negativos que provocan los setos se pueden mencionar los siguientes: competencia por agua, nutrientes y luz, y posibles exudaciones alelopáticas. Se deben evitar, en general, especies con las siguientes características:

a) *Alóctonas o invasoras.* Son aconsejables las especies de árboles y arbustos que se encuentran de forma natural en la zona.
b) *Especies que florezcan al mismo tiempo*, ya que se puede establecer competencia en la polinización.
c) *Especies con hojas que tarden mucho en descomponerse* o que puedan dar lugar a compuestos tóxicos para el cultivo, como falsos plátanos, chopos, pinos o cipreses, en los huertos.

Figura 8.4
Cultivo de hortícolas en producción ecológica en Artana (Castellón), rodeada de vegetación natural.
Fuente: Igualada, N.

8.3.2. Estanques, embalses y charcas

Para la ubicación de embalses y charcas debe tenerse en cuenta la topografía del terreno, evitando excesivas excavaciones y movimientos de tierra, y aprovechando vaguadas o zonas más llanas. Estas infraestructuras favorecen la presencia de anfibios. Se debe evitar alterar la cubierta vegetal, ya que en ese caso estas especies se quedan sin el refugio que impide que sean atacadas por los depredadores.

En relación con el tratamiento del suelo, si se considera necesario impermeabilizar, se puede utilizar algún tipo de membrana impermeable. Esta capa se extiende sobre un terreno liso sobre el que se ha colocado una capa de arena de río o una manta geotextil. Esta capa se puede disimular con una lámina geotextil y, a continuación, una capa de arena, para que se instale la vegetación acuática.

Según las dimensiones de la finca se pueden crear charcas en diferentes lugares, lo que favorece la conexión entre poblaciones de anfibios. La profundidad de la charca dependerá de los anfibios que se distribuyan por el entorno.

Figura 8.5
Charca en olivar. Proyecto LIFE.
Fuente: Proyecto Olivares vivos. SEO/Birdlife.

Una parte de la charca debe tener las orillas con pendientes suaves y ser irregulares para que los animales puedan entrar y salir.

Por otro lado, es necesario que haya sol y sombra; por un lado el sol es necesario para el crecimiento de las plantas acuáticas y, por otro, la sombra evita la proliferación excesiva de algas y se evita la evaporación del agua.

Es necesaria la colocación de refugios dentro del agua como troncos, tejas, piedras…, y en los alrededores de la charca. En el caso de construirse muros, estos deben tener el mayor número de huecos posible y, si fuera necesaria su sujeción, debe utilizarse la mínima cantidad de mortero posible, ya que la parte de la superficie será refugio de invertebrados y la parte sumergida, cobijo de fauna acuática.

8.3.3. Refugios y cajas nido

Con el fin de recuperar o mantener insectos, anfibios, aves y otras especies, pueden utilizarse en la finca de cultivo una serie de infraestructuras de refugio para estos animales, aumentando así las poblaciones de enemigos naturales permanentes.

En el caso de la conservación de la población de murciélagos, eficaces contra los insectos voladores, es interesante la colocación de cajas específicas durante la hibernación o la época estival.

Las cajas nido son lugares donde muchas aves pueden anidar los páridos, herrerillos, carboneros, trepadores, gorriones, estorninos, petirrojos, vencejos, autillos, cárabos, cernícalos, etc. Hay que considerar su lugar de ubicación, características y tamaño.

Figura 8.6
Hotel o caja de insectos. Proyecto LIFE.
Fuente: Proyecto Olivares vivos. SEO/Birdlife.

8.4. Transformación de fincas de producción convencional a ecológica

El *proceso de conversión* de una finca de agricultura convencional a agricultura ecológica depende del grado de intensificación y especialización que se haya mantenido en ella a lo largo de sus años de cultivo.

En el ámbito legal, el tiempo de transición se establece entre uno y tres años. Este plazo trata de garantizar al consumidor la ausencia de residuos químicos de síntesis en los alimentos. Desde un punto de vista ecológico, la conversión tiene lugar cuando el suelo se ajusta al nuevo balance de componentes bióticos y abióticos, suponiendo un plazo de tiempo mayor. Por otro lado, la estabilización de la producción a niveles similares a los anteriores se consigue entre el plazo legal y el ecológico.

Debe tenerse en cuenta que el rediseño del agroecosistema implica la necesidad de inversiones económicas, lo que también puede alargar el proceso. En este caso, hay que valorar muy positivamente las ayudas que puedan obtenerse de los actuales *Planes de fomento de la agricultura ecológica*.

Los principios por los que los agricultores y ganaderos se deciden a hacer la conversión a la producción ecológica son de índole medioambiental, económica y social.

La transición exige una planificación que parta del análisis de la situación inicial y de los recursos y condicionantes de cada finca y cultivo.

Cuando se quiere realizar la planificación de la conversión de una finca convencional a la agricultura ecológica, debe plantearse una situación objetivo y temporalizar los pasos que se van a realizar, teniendo mecanismos de retroalimentación para poder modificar el plan en caso de necesidad. Deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. *Obtención de información sobre agricultura ecológica:* publicaciones, cursos, experiencias ya realizadas, visitas… Se puede realizar un listado con las instituciones o personas disponibles que pueden aportar información sobre agricultura ecológica.
2. *Realización del análisis de situación de partida de la finca.* Este objetivo se puede alcanzar con las siguientes técnicas:
   a) *Inventario de la finca:* extensión, recursos naturales y humanos disponibles, residuos tóxicos acumulados, organismos del suelo, fuentes de materia orgánica, historial de cultivo, historial ganadero, historial de enfermedades, plagas y adventicias, contaminación de acuíferos, maquinaria, cultivos colindantes, carreteras, origen del agua y trayecto, contaminación atmosférica, equilibrio de flora y fauna, etc. Además de los factores climatológicos, análisis de suelos y aguas, factores económicos y otros.

CUADRO 8.2
Componentes clave de un inventario de finca

Geoestructura e hidroestructura
– Tipo de suelo
– Materia orgánica del suelo
– Estudio de la fertilidad (CIC, balance de cationes, problemas de microelementos, etc.)
– Propiedades físicas del suelo
– Vida del suelo
– Residuos tóxicos
– Fuentes y calidad de la materia orgánica
– Disponibilidad y calidad del agua
– Clima y microclima
Bioestructura
– Historial del cultivo
– Semillas empleadas y posibilidad de acceder a otras más adaptadas a la producción ecológica
– Historial de flora adventicia
– Presencia de infraestructuras ecológicas: bosques, setos, manchas de vegetación silvestre, etc
– Plagas insectiles o no, y vida salvaje
– Historial del ganado y sus enfermedades
Tecnoestructura
– Maquinaria: remolque estercolador, desbrozadora, pala para voltear las pilas de compost, etc
– Alojamiento para el ganado
– Posibilidad de envasado o procesamiento
– Disponibilidad de préstamos y alquileres
Socioestructura
– Mano de obra disponible
– Instituciones u organizaciones de apoyo
– Mercados específicos de productos ecológicos

Fuente: Guzmán, G. y Alonso, A., 2008.

   b) *Análisis del sistema agrario:* se identifican los componentes de la finca y se cuantifican y analizan los flujos entre ellos, y entre ellos y el entorno (entradas y salidas de materia, energía y capital); esto ayuda a identificar las pérdidas del sistema, las cuales se deben reducir durante la conversión.

3. *Programa de conversión.* En este programa se indican las actuaciones a seguir:

   a) *Elaborar un plan de mejora del suelo:* incorporación de mezclas de estiércol con restos de poda, compostaje, incluir en las rotaciones plantas mejorantes, laboreo ecológico, cubiertas vegetales, abonos verdes…
   b) *Diseñar e iniciar la rotación y alternativas de cultivo.*
   c) *Ajustar la carga ganadera:* en función de los objetivos ecológicos y de la demanda de forraje del ganado.
   d) *Introducir infraestructuras ecológicas:* setos, áreas de vegetación silvestre, refugios de fauna, balsas, etc.
   e) *Adaptar los medios al nuevo plan de trabajo:* maquinaria, instalaciones, nuevos procedimientos de control de adventicias, plagas y enfermedades…
   f) *Crear infraestructuras para el nuevo plan de manejo:* viales, composteras, almacenes, etc.

4. *Valoración de los insumos externos necesarios:* semillas, estiércol, maquinaria, capital, trabajo, personal técnico, mercados…
5. *Plan de comercialización:* al realizar un cambio en las características del producto o cambio de producciones, deben hacerse modificaciones en la estrategia de comercialización.
6. *Plan financiero:* este plan debe ajustarse a los nuevos objetivos planteados.

Este proceso de conversión puede ser evaluado mediante indicadores, según las posibilidades de tiempo y medios humanos (índices de biodiversidad, rendimientos, calidad del producto, costes, mano de obra, etc.), que sirven para la toma de decisiones y para la introducción de posibles ajustes.

Actividad propuesta 8.2

Busca una finca de cultivo cercana a la zona donde vives y realiza un inventario siguiendo el guion del cuadro 8.2. Para ello será necesario que entrevistes al personal que lleva la gestión de la misma.

8.5. Proceso de certificación ecológica

La certificación de productos ecológicos surge de la *necesidad de diferenciar* estos productos de otros que llegan al mercado. De esta manera, se pueden situar en una posición de ventaja competitiva y los productores pueden ver recompensado el esfuerzo realizado para conseguir un producto ecológico. Por otra parte, los consumidores necesitan una garantía de que los productos que compran cumplen una serie de características de calidad o de seguridad. Y las administraciones públicas necesitan tener un registro de productores y operadores de agricultura ecológica y asegurar que los reglamentos se aplican correctamente.

8.5.1. Normativa

La normativa básica que regula la producción ecológica de alimentos en la Unión Europea es la siguiente:

a) *El Reglamento (CE) 834/2007,* del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) n.º 2092/91.

Este reglamento es aplicable desde el 1 de enero de 2009; es la normativa que regula y define lo que es la producción ecológica, de manera que esta denominación solo puede emplearse en los productos que certifiquen que cumplen dicha legislación.

Esta normativa regula las normas de producción, elaboración, etiquetado y sistema de control de los productos ecológicos, y es válida en todos los países de la Unión Europea; por lo que todo aquel que quiera producir, elaborar, envasar o importar productos bajo las indicaciones de agricultura ecológica, biológica u orgánica debe cumplirla y estar certificado por un organismo o autoridad de control autorizada.

b) *Reglamento (CE) 889/2008*, de la Comisión, de 5 de septiembre de 2008, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CEE) n.º 834/2007, del Consejo.

c) *Reglamento (CE) 1235/2008,* de la Comisión, de 8 de diciembre de 2008, en lo que se refiere a las importaciones de productos ecológicos procedentes de terceros países, en aplicación de las disposiciones establecidas en el Reglamento (CE) n.º 834/2007, del Consejo.

Figura 8.7
a) Distintivo UE de los productos de agricultura ecológica; *b)* Sello oficial del CAECV.

Como distintivo para que el consumidor pueda identificar en el mercado los productos de la agricultura ecológica, todas las unidades envasadas, además de su propia marca y de alguna de las menciones específicas de la agricultura ecológica, *llevan impreso el código de la autoridad u organismo de control junto al logo específico*. También debe ir impreso el logo comunitario de la AE, que es obligatorio desde el 1 de julio de 2010, en las condiciones establecidas en la normativa.

En España, las competencias en cuanto al control y la certificación de la agricultura ecológica corresponde a las comunidades autónomas. Es decir, las comunidades autónomas tienen las competencias de control directo y último sobre la producción y certificación ecológicas. En algunas CC. AA. existen comités o consejos reguladores a los que la Administración ha confe-

rido el control y certificación. En otras CC. AA. el control lo ejerce la propia Administración o lo delega en organismos privados.

El control va desde la producción primaria hasta que el producto llega al consumidor final. Finalmente, se otorga un sello de producto ecológico, en caso de cumplirse todos los requisitos, que es la única garantía oficial de que el producto procede de una finca o industria sometida a los controles e inspecciones dictados por la Unión Europea.

Los organismos de control deben garantizar:

- *Confianza:* transparencia y objetividad.
- *Fiabilidad y control:* permanente control y análisis del sistema productivo y de los productos.
- *Calidad:* alimentos de alta calidad organoléptica y nutritiva.
- *Trazabilidad:* conocimiento del origen y el destino de los productos

8.5.2. Certificación ecológica

La *certificación ecológica* garantiza que los productos han sido producidos o elaborados siguiendo las normas de la agricultura ecológica, y que han sido controlados en todo su proceso de producción, elaboración, envasado y comercialización. La normativa se aplica a las actividades en cualquier etapa de la producción, preparación y distribución relativas a los productos para los cuales se solicita la certificación.

Los productos que se pueden certificar son: productos agrarios de origen animal o vegetal no transformados, productos agrarios de origen animal o vegetal transformados destinados a ser utilizados para la alimentación humana, piensos, material de reproducción vegetativa y semillas para cultivo, levaduras destinadas al consumo humano o animal y productos de la acuicultura ecológica (animales de la acuicultura y algas marinas).

Los productos de la caza y de la pesca de animales salvajes no se considerarán de producción ecológica.

No hay plazo para solicitar la certificación, pero si se quieren solicitar ayudas, se deberán realizar en los plazos correspondientes. En general, los pasos para solicitar la certificación son:

1. Tramitación de la certificación: presentación de la solicitud y pago de cuotas.
2. Verificación de la documentación.
3. Inspección: el técnico verifica el cumplimiento de la norma y la trazabilidad del producto; se realiza el control de los registros y muestras analíticas.
4. Emisión del informe y comunicación de las posibles desviaciones.
5. Revisión por parte de personal no involucrado.
6. Decisión del Comité de Certificación: valoración de los expedientes y decisión sobre la certificación (favorable o no favorable).
7. El operador recibe su certificación.

Cuando un agricultor o productor considera la posibilidad de transformar sus cultivos convencionales a cultivos ecológicos, debe seguir una serie de normas del Consejo regulador autonómico, siempre según el Reglamento 834/2007. El artículo 2 define la *conversión* como la "transición de la agricultura no ecológica a la agricultura ecológica durante un periodo de

tiempo determinado en el que se aplicarán las disposiciones relativas a la producción ecológica". Esta definición no discrimina entre producción ganadera y agrícola.

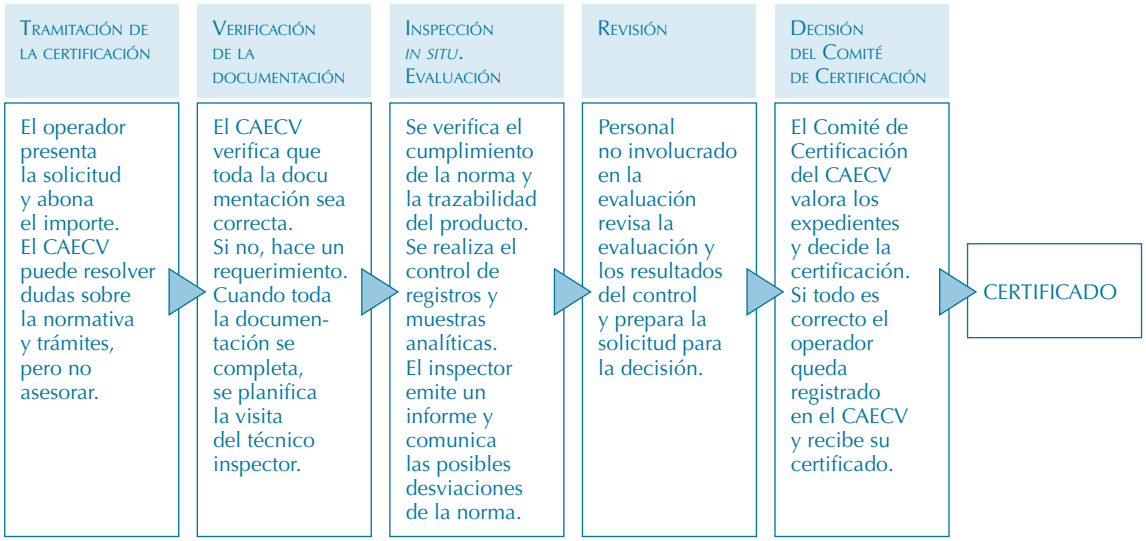


Figura 8.8
Proceso de certificación del Comité de Agricultura Ecológica de la Comunidad Valenciana.
Fuente: adaptado del CAECV.

En el artículo 17 se atiende a la conversión y la condiciona al cumplimiento de las normas de dicho reglamento. Así, toda producción que se desee certificar como ecológica deberá someterse tanto a las normas del reglamento como a la supervisión de las autoridades competentes, fijándose los periodos de conversión específicos para los distintos tipos de cultivo.

Durante el periodo de conversión deben seguirse las mismas normas que si se estuviera produciendo en agricultura ecológica. Si un operador tuviera en su explotación cultivos ecológicos y cultivos en conversión, deben estar separados, evitando cualquier mezcla de productos. Además, debe existir un registro documental de esta práctica. Los productos de conversión se pueden comercializar bajo esta denominación, siempre que desde que empezó la conversión se haya cumplido un año.

El reglamento fija unos *periodos de conversión,* pero en realidad estos periodos pueden ser mayores o menores en función de la situación de partida de la finca y sus características:

1. Cultivos perennes (frutales, olivo, viña, cítricos…), 3 años.
2. Cultivos anuales (hortícolas, cereales…), 2 años.
3. Praderas o forrajes perennes, antes de su explotación como piensos procedentes de agricultura ecológica, 2 años.
4. En el caso de las producciones ganaderas:

   a) Doce meses en el caso de los équidos y bovinos destinados a la producción de carne y, en cualquier caso, al menos durante tres cuartas partes de su tiempo de vida.
   b) Seis meses en el caso de los pequeños rumiantes, los cerdos y los animales para la producción de leche.

c) Diez semanas para las aves de corral destinadas a la producción de carne, y seis semanas en el caso de la producción de huevos.

Los productos de la apicultura solo podrán venderse con referencias al método de producción ecológico cuando las normas de producción ecológica se hayan cumplido durante un año, por lo menos.

No obstante, se pueden utilizar variedades no obtenidas por métodos ecológicos (artículo 22 del Reglamento 834/2007) cuando sean necesarias para garantizar el acceso a piensos, semillas, material de reproducción vegetativa, animales vivos y otros medios de producción agrícola, en caso de que estos no existan en el mercado en la variante ecológica y previa solicitud y autorización de la autoridad u organismo competente. La utilización, en este caso, es posible siempre que las semillas o patatas de siembra no se hayan tratado con productos fitosanitarios distintos de los autorizados para el tratamiento de semillas.

No podrán emplearse semillas ni material de reproducción con organismos modificados genéticamente (OMG), y las turbas y los sustratos utilizados en los semilleros para planteles no deben haber sido tratados con fungicidas de síntesis ni enriquecidos con abonos químicos.

PARA SABER MÁS

Según la FAO, "un alimento biológico es aquel que se ha obtenido a partir del seguimiento, durante todo el proceso, de las normas que regulan la producción orgánica, cuyo cumplimiento ha sido verificado mediante un sistema de inspección y certificación. Las actividades de inspección y certificación forman parte intrínseca del sistema de producción biológica y tienen por objeto conseguir agroecosistemas que sean social y ecológicamente sostenibles; por ello, cuando se hace mención a los alimentos biológicos, se está haciendo referencia más a un proceso que a un producto".

RECURSO WWW

La normativa de certificación en agricultura ecológica puede, en ocasiones, ser considerada insuficiente, al no tener en cuenta aspectos sobre la biodiversidad de la finca, manejo del agua y de la energía, criterios laborales y sociales, envasado, transporte, etc. También hay pequeños productores que encuentran dificultades en adaptarse a ciertos requisitos administrativos de la certificación ecológica. Por estas razones, en los últimos años han surgido los llamados *Sistemas Participativos de Garantía* (SPG), que, actuando a una escala más local, garantizan el cumplimiento de unos criterios acordados entre consumidores y productores, que suelen cubrir aspectos obviados por los sistemas de certificación en AE.

Hay otras formas de certificación, como los sellos Demeter (Agricultura Biodinámica) o Slow Food (Km 0), que tratan de garantizar determinadas condiciones que pueden interesar al consumidor desde el punto de vista de la salud ambiental y personal.

Puedes encontrar más información en la web de IFOAM (*Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica*) sobre los diferentes estándares y sistemas de certificación a nivel mundial.

8.6. El mercado de la producción ecológica y su futuro

Conocer las características del mercado actual de productos procedentes de la agricultura ecológica, así como su evolución y perspectivas futuras, es fundamental para tomar decisiones y planificar los cultivos siguiendo este sistema de producción. Los posibles canales de comercialización de productos ecológicos merecen también una especial atención para poder poner en el mercado los productos obtenidos.

RECURSO ELECTRÓNICO 8.1

En el anexo web 8.1, disponible en www.sintesis.com y accesible con el código indicado en la primera página del libro, encontrarás información sobre todos estos aspectos relacionados con el mercado de la producción ecológica y su futuro.

Resumen

- La agricultura ecológica surge como una opción saludable, de respeto hacia el medio ambiente y hacia las personas, con consecuencias sociales, paisajísticas, ambientales y de desarrollo rural. Las técnicas utilizadas en la producción ecológica se basan en pilares como la biodiversidad, el reciclaje de materia y energía, y el control biológico natural. Es necesario un proceso de transición para que una finca dedicada a la agricultura convencional pueda pasar a ser una finca de producción ecológica. Para la puesta en el mercado de los productos obtenidos mediante agricultura o ganadería ecológicas es necesaria su certificación, para lo cual existe una normativa y unos organismos encargados de aplicarla. La comercialización de estos productos está en pleno proceso de transformación, ya que la producción no deja de crecer y la demanda es cada vez mayor, al mismo tiempo que los organismos oficiales apoyan cada vez más este modelo de producción de alimentos.

Supuesto práctico

Realiza una tabla donde aparezcan los datos de superficie dedicada a la producción ecológica en España en los últimos cinco años. En la página web del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente puedes encontrar los datos estadísticos y resultados de las encuestas realizadas a la población sobre el consumo de estos productos. Debate en clase sobre la evolución de los datos de producción ecológica en España y las posibles razones por las que el consumo a escala nacional no tiene la misma tendencia.

Actividades de autoevaluación

1. Una de las bases de la producción vegetal ecológica es:
   - ☐ *a)* El uso de productos químicos de síntesis.
   - ☐ *b)* El uso de organismos modificados genéticamente.
   - ☐ *c)* El mantenimiento o mejora de la fertilidad del suelo.
   - ☐ *d)* El uso del cultivo hidropónico.

2. Una de las técnicas utilizadas en la agricultura ecológica es:
   - ☐ *a)* El uso de herbicidas químicos.
   - ☐ *b)* La rotación de cultivos.
   - ☐ *c)* Control de plagas mediante tratamientos químicos de síntesis.
   - ☐ *d)* El abonado químico.

3. Las cubiertas vegetales:
   - ☐ *a)* No se deben incorporar al suelo.
   - ☐ *b)* Siempre son perjudiciales por la competencia con el cultivo.
   - ☐ *c)* Favorecen la actividad microbiana.
   - ☐ *d)* Son más efectivas si son monoespecíficas.

4. Según la normativa europea de agricultura ecológica, el periodo de conversión para los cultivos perennes (frutales, olivo, viña, cítricos…) es de:
   - ☐ *a)* 4 años.
   - ☐ *b)* 2 años.
   - ☐ *c)* 10 años.
   - ☐ *d)* 3 años.

5. En España, las competencias en cuanto al control y la certificación de la agricultura ecológica corresponden a:
   - ☐ *a)* Las diputaciones provinciales.
   - ☐ *b)* Las comunidades autónomas.
   - ☐ *c)* Los ayuntamientos.
   - ☐ *d)* Los organismos privados certificadores.

SOLUCIONES:

1. a b **c** d **2.** a **b** c d **3.** a b **c** d **4.** a b c **d** **5.** a **b** c d

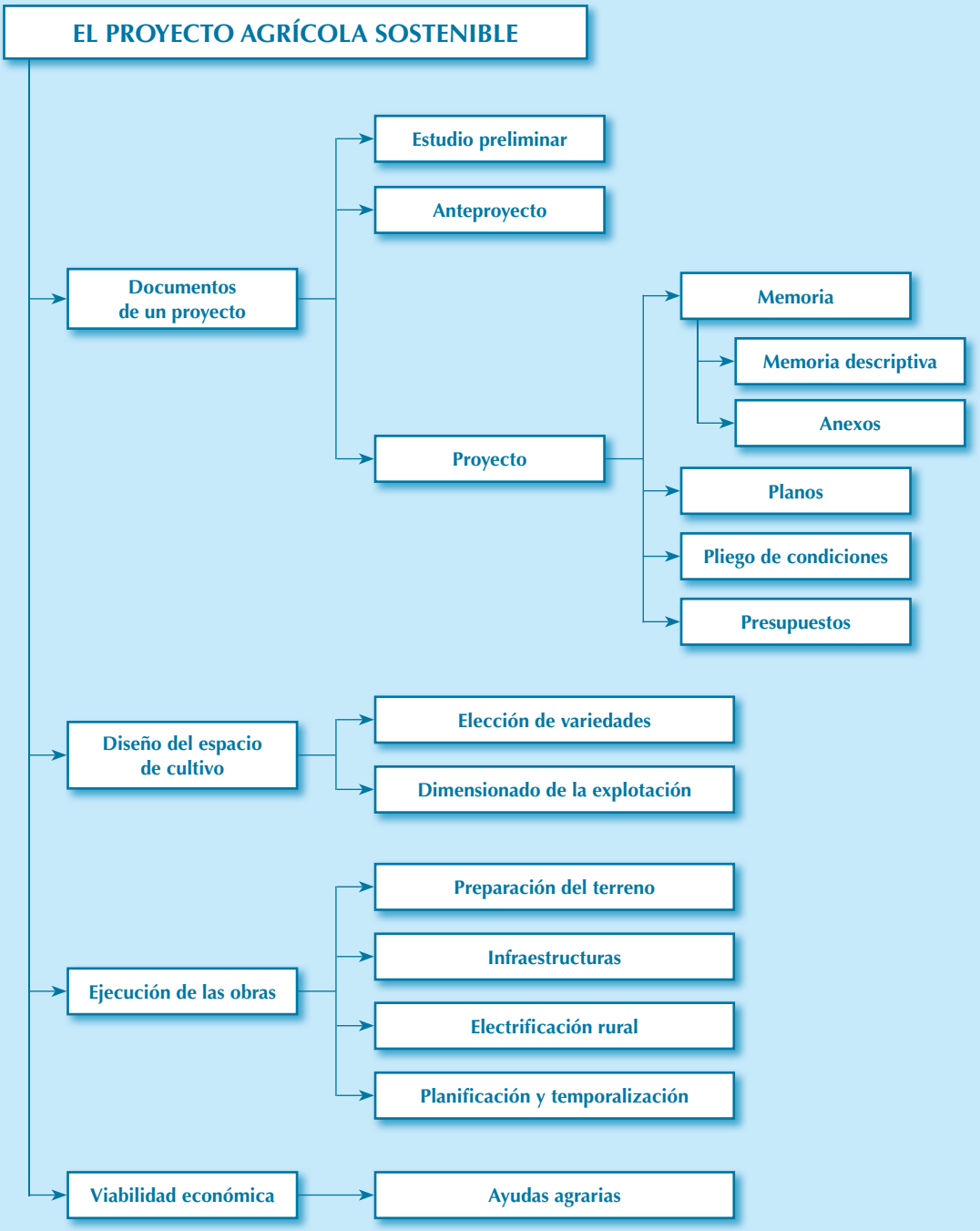
9

El proyecto agrícola sostenible

Objetivos

- ✓ Reconocer e interpretar los documentos que forman parte de un proyecto.
- ✓ Aplicar los criterios técnicos, de viabilidad económica y de sostenibilidad en el diseño y la planificación de un proyecto agrícola.
- ✓ Planificar las acciones de preparación del terreno para el montaje de instalaciones (soleras, anclajes, cimentaciones, etc.).
- ✓ Organizar la ejecución de las obras para la construcción de las infraestructuras básicas que forman parte de una finca agrícola.
- ✓ Coordinar y organizar los recursos humanos, los materiales y la maquinaria necesarios en un proyecto agrícola.
- ✓ Conocer y aplicar la normativa en relación con la prevención de riesgos laborales en la ejecución de un proyecto.
- ✓ Valorar las ayudas e incentivos económicos destinados a empresas del sector agrario.

Mapa conceptual



Glosario

Amortización técnica. Depreciación que sufren los activos inmovilizados (construcciones, maquinaria, instalaciones, etc., excepto terrenos) como consecuencia del uso, de la obsolescencia, del paso del tiempo y de los avances técnicos. No incluye las pérdidas de valor ocasionadas por factores imprevistos.

Código técnico de la edificación (CTE). Marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

Estudio geotécnico. Estudio que tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno; fundamental para definir el tipo y características de la cimentación.

Hormigón ciclópeo. Hormigón al que, una vez vertido, se le introducen piedras o bloques de gran tamaño. Se usa para cimentaciones voluminosas de grandes obras o para generar grandes macizos.

Proyecto de obra. Serie de documentos que definen una obra, de forma que un facultativo distinto al autor puede dirigir, con arreglo al mismo, las obras o trabajos correspondientes.

Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT). Normativa vigente que recoge las condiciones técnicas que han de reunir las instalaciones eléctricas de baja tensión.

Superficie agrícola utilizada (SAU). Conjunto de la superficie de tierras labradas y tierras para pastos permanentes de una explotación agraria. Las tierras labradas comprenden los cultivos herbáceos, los barbechos, los huertos familiares y los cultivos leñosos.

Unidad de trabajo-año (UTA). Equivale al trabajo agrario que realiza una persona a tiempo completo a lo largo de un año. Una jornada parcial se computa como la mitad de una completa.

Zahorra. Material granular, compuesto por áridos finos (arenas) y áridos gruesos (gravas) de granulometría continua, que puede ser natural o artificial, formada por áridos triturados procedentes de cantera o de grava natural.

9.1. Introducción

Un proyecto es la *planificación* del conjunto de actividades interrelacionadas y coordinadas que son necesarias para alcanzar unas metas específicas en un tiempo previamente definido, dentro de los límites de un presupuesto, haciendo uso de medios materiales y de recursos humanos, y que se plasma en una serie de documentos.

Un *proyecto sostenible* es aquel que garantiza un impacto positivo en la sociedad y en la economía, y que minimiza el impacto negativo en el medio ambiente, todo ello de manera perdurable en el tiempo. En el diseño y la ejecución de un proyecto, deben tenerse en cuenta todos los condicionantes técnicos, económicos y de sostenibilidad, elegir la mejor alternativa posible y planificar cada una de las actividades, siempre teniendo en cuenta la normativa ambiental y de riesgos laborales.

9.1.1. Justificación, fases y objetivos de un proyecto

Para que se materialice una idea, esquema o plan de trabajo con un objetivo agrario, el primer paso es la realización de un proyecto que englobe todos los espacios, instalaciones e infraestructuras necesarias. La profundidad o rigurosidad del proyecto depende de la envergadura del mismo, y, si contempla la construcción o transformación física de un espacio, se recoge en un documento denominado *proyecto técnico o de obra*.

Un proyecto técnico es un conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para determinar cómo ha de ser, cómo debe ejecutarse y cuál es el coste de una obra antes de ser realizada:

a) Es una solución técnica, económica y social a un problema planteado.
b) Implica un proceso que ha de seguir, ordenadamente, una serie de fases y un estudio de alternativas.
c) Involucra diferentes personas físicas y jurídicas (promotor, equipo técnico, empresas constructoras e instaladoras, entidad financiera, etc.).

La redacción de un proyecto puede venir justificada por:

- *Necesidades técnicas:* conocer la forma, el coste y el modo de ejecutar una obra o mejora.
- *Necesidades administrativas:* cierta documentación es indispensable para la legalización y cumplimiento de requisitos exigidos por organismos oficiales conforme la legislación vigente.
- *Necesidades financieras:* el proyecto es útil si la financiación es propia, pero es indispensable si se necesita de financiación ajena (banca, inversores o ayudas).

La realización de un proyecto tiene tres fases diferenciadas:

1. *Estudio preliminar.* Tiene como objetivos conocer el proyecto y las posibles soluciones alternativas, estudiando su viabilidad y seleccionando finalmente la más adecuada.
2. *Anteproyecto.* Se analiza la solución adoptada. Es un proyecto simplificado y carece de carácter ejecutivo. Suele constar de una memoria (simplificada), de planos (no al detalle) y de un presupuesto (partida alzada).
3. *Proyecto.* Se desarrolla la solución adoptada. Comprende la redacción y realización detallada de la memoria, planos, pliego de condiciones y presupuesto.

9.1.2. Documentos que componen un proyecto técnico

Un proyecto técnico debe estar compuesto por los documentos que se describen a continuación.

A) Memoria

La memoria es el primer documento del proyecto, y está compuesto por la *memoria descriptiva* y los *anexos*. Describe y justifica de manera clara y concisa la ingeniería, la planificación y el control de la ejecución del proyecto. Contiene un resumen general de presupuestos, un estudio de viabilidad económica y los plazos de ejecución. También recoge la justificación urbanística y el cumplimiento de la normativa. Los anexos a la memoria permiten aclarar, justificar y ampliar

los aspectos tratados en la memoria, incluyen los cálculos realizados y los documentos que el proyectista considere de interés (estudios de clima, suelo, agua, etc.). Aunque se trata de documentos independientes al proyecto, como anexos a la memoria también se incluyen el *estudio de seguridad y salud* de las obras (donde se establecen las previsiones respecto a la prevención de riesgos de accidentes, enfermedades profesionales y los derivados de los trabajos, así como la normativa de necesario cumplimiento) y el *estudio de impacto ambiental* (EsIA).

Recuerda

- ✓ Uno de los documentos más importantes de un proyecto es el *estudio de impacto ambiental* (EsIA). Es un análisis dirigido a identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir, corregir (mediante la propuesta de *medidas correctoras)* y comunicar el efecto de un plan, proyecto o actividad sobre el medio ambiente. Su objetivo básico es evitar posibles errores y deterioros ambientales. En el caso de que estos no se pudieran evitar, se propone la aplicación de *medidas compensatorias* que, como su nombre indica, están destinadas a "compensar" los efectos ambientales con acciones de efecto contrario al de la acción emprendida.
- ✓ La administración pública competente lleva a cabo el procedimiento administrativo de supervisión e información pública del EsIA, llamado *evaluación de impacto ambiental* (EIA) que finaliza con la *declaración de impacto ambiental* (positiva o negativa). El EIA es necesario según el tipo, la envergadura y los efectos del proyecto en el medio natural.

El procedimiento de evaluación de impacto ambiental en España se recoge en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental, cuyo objetivo es regular ciertos tipos de proyectos que pueden provocar efectos negativos en el medio ambiente.

Actividad propuesta 9.1

a) Indica las diferencias entre un estudio y una evaluación de impacto ambiental.
b) Consulta la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, e indica qué proyectos del sector agrario están sometidos a la realización de una evaluación ambiental ordinaria y cuáles a una evaluación simplificada.

B) Planos

Un plano es una *representación gráfica* en dos dimensiones y a determinada escala de un terreno, construcción, pieza, etc. Los planos deben recoger los antecedentes que existan antes de realizarse el proyecto, además de definir de una manera exacta, unívoca y completa todos y cada uno de los elementos del proyecto, tanto en formas como dimensiones y características esenciales, de manera comprensible. Su misión es facilitar la planificación de la ejecución de obras e instalaciones y permitir el control de la obra en cuanto a plazos y calidades por parte de la dirección facultativa. La elaboración de los planos debe cumplir con la normativa en vigor de escalas, formatos, acotación, rotulación, plegado y presentación.

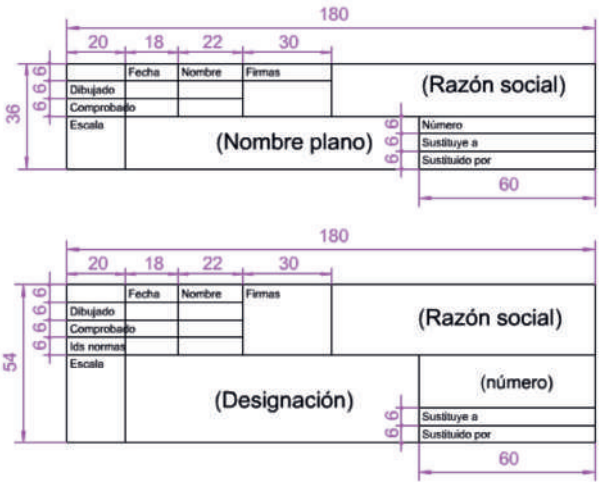


Figura 9.1
Cajetín normalizado (dimensiones en mm).
Fuente: García, V.

Las escalas utilizadas más habituales son las siguientes:

- Planos de situación: 1:50 000 / 1:25 000 / 1:10 000.
- Planos de emplazamiento: 1:5000 / 1:2 000 /1:1000.
- Planos topográficos: 1:1000 / 1:500.
- Planos de replanteo: 1:500 / 1:200.

C) Pliego de condiciones

Es un *documento contractual* que recoge las cláusulas técnicas y la normativa legal que regula los derechos, responsabilidades y garantías que deben cumplir todas las partes implicadas en el desarrollo, puesta en marcha y ejecución de un proyecto (promotor, director de la obra, contratista y proyectista). El pliego no debe contradecir las leyes ni normas vigentes. Según el código técnico de la edificación incluye:

1. *Pliego de cláusulas administrativas*: hacen referencia principalmente a las funciones de los intervinientes en cuanto a condiciones legales, facultativas, administrativas y económicas.
2. *Pliego de condiciones técnicas particulares:* relativo a las normas, recomendaciones y directrices técnicas de los trabajos que se van a realizar, de los materiales y de los equipos.

D) Mediciones y presupuestos

Las mediciones y presupuesto forman el documento del proyecto que cuantifica cuáles van a ser las unidades que componen la ejecución de una obra y cuál va a ser su coste. Para facilitar su interpretación, el documento se desglosa en capítulos que hacen referencia a conceptos generales (movimiento de tierras, contenciones, plantaciones, instalaciones, etc.), que a su vez se descomponen en *partidas* más concretas (excavaciones, muros, riego, etc.), que en último término se pueden dividir en *subpartidas* más detalladas (excavación de pozos, muro de mampostería en seco, conducciones para riego por goteo, etc.).

Para determinar un presupuesto, en primer lugar se describe en texto cada partida de la intervención que se va a realizar (Por ejemplo, "*Lavandula* spp. de 0,30 a 0,50 m de altura, suministrado en contenedor y plantación en hoyo de 0,4 × 0,4 × 0,4 m, incluso apertura a mano, abonado, formación de alcorque y primer riego").

A continuación, se definen las unidades que componen la partida (n.º de unidades, m^3, kg, etc.). Finalmente, se le asigna un precio, para lo cual se tiene en cuenta la mano de obra (oficial jardinero, peón de construcción, etc.), los materiales utilizados (plantas de lavanda, sustrato, etc.) y la maquinaria empleada (retroexcavadora, tractor, etc.).

Una vez definida la partida, su unidad y su precio, se realiza la medición de cada una de ellas, que se puede obtener del plano o de la realidad.

De la medición y la aplicación de precios se determinan los presupuestos parciales de cada una de las partidas. Y de la suma de las diferentes partidas se obtiene el presupuesto parcial de cada capítulo. La suma de cada capítulo da, como resultado, el *presupuesto de ejecución material (PEM),* sin IVA.

Cuando se realizan trabajos para la Administración, además de los anteriores, se debe definir el *presupuesto general,* que se compone del presupuesto de ejecución material, presupuesto por contrata y los honorarios técnicos.

Para saber más

- Presupuesto de ejecución material (PEM) = Mano de obra + Materiales + Maquinaria + Costes (directos e indirectos).
- Presupuesto por contrata = Presupuesto de ejecución material + Gastos generales (6 % del PEM) + Beneficio industrial (13 % del PEM) + IVA.
- Presupuesto general = Presupuesto por contrata + Honorarios del proyectista + Honorarios por dirección de obra + IVA.

Recursos WWW

En el enlace de CYPE Ingenieros (1) se puede descargar una aplicación para realizar presupuestos gratuita para estudiantes. Y en el enlace del Portal Ciudadano de la Junta de Extremadura (2), una base de datos de precios para la construcción.

Puedes acceder a ambos a través de los QR adjuntos:

① ②

Actividad propuesta 9.2

Contesta las siguientes cuestiones:

a) ¿Cuántas fases son necesarias para realizar un proyecto?
b) ¿En qué documento del proyecto se justifica la solución adoptada?
c) ¿Qué información se recoge en el pliego de condiciones de un proyecto?

9.1.3. Diseño integral del proyecto agrícola

Para materializar un proyecto agrícola o de cultivo, la primera fase es realizar un diseño adecuado del espacio de cultivo así como de las infraestructuras necesarias para desarrollar el plan de producción. Un buen diseño debe ser capaz de atender a los elementos que se recogen en el cuadro 9.1, que se encuentran interrelacionados.

En el proceso de planificación y diseño de un proyecto agrícola destacan tres aspectos fundamentales: la elección de los cultivos, el dimensionado de la explotación y los criterios de sostenibilidad.

CUADRO 9.1
Objetivos del diseño de un proyecto agrícola

Determinar	Analizar
Material vegetal y/o animal Insumos Tecnologías Productos y subproductos Calendario	Actividades Ordenación Tiempos Rendimientos Condiciones
Dimensionar	**Distribuir**
Maquinaria Instalaciones Almacenes Mano de obra Caminos, vallados, drenajes, etc. Infraestructuras accesorias	Departamentos Funciones Cargos Responsabilidades

A) Elección de los cultivos

Para poder elegir las especies que se van a cultivar (variedades, portainjertos, polinizadores, cultivos acompañantes, rotaciones, etc.), deben tenerse en cuenta aspectos como las necesidades del cultivo, los recursos disponibles, el destino de la producción, la rentabilidad económica, las limitaciones impuestas por la política agraria, etc. Deben seleccionarse, así mismo, los métodos de producción (aire libre, método de forzado…).

B) Dimensionado de la explotación

Una vez analizadas todas las alternativas y elegidos los cultivos y su tecnología de producción, se dimensionan los diferentes espacios, instalaciones e infraestructuras que se precisan:

1. *Zonas de producción:* superficie dedicada a cada tipo de cultivo.
2. *Instalaciones de riego:* acequias, depósitos, bombas, casetas de riego, etc.

3. *Instalaciones de forzado y control climático:* invernaderos, automatismos, umbráculos, túneles, cortavientos, etc.
4. *Sistemas de drenaje y de control de la erosión:* bancales, terrazas, barreras vivas, diques antierosión, etc.
5. *Infraestructuras:* almacenes, embalses, cámaras de conservación, etc.
6. *Infraestructuras accesorias:* quemadores, composteras, etc.
7. *Mecanización:* tractores, aperos, desbrozadoras, cosechadoras, sembradoras, etc.
8. *Viales:* caminos, sendas, etc.
9. *Electrificación:* transformador, postes, cableado, cuadros eléctricos, aislamientos, canalizaciones subterráneas, instalaciones de energía solar fotovoltaica, eólica, etc.
10. *Cerramientos:* vallados, muros y pantallas.
11. *Infraestructuras ecológicas:* estanques, refugios, setos vivos, etc.
12. *Contenedores y zonas para la gestión o el tratamiento de residuos.*
13. *Instalaciones para la higiene y bienestar de los trabajadores:* comedores, baños, duchas, vestuarios, etc.
14. *Instalaciones ganaderas:* en el caso de diseñar una finca agraria mixta (agrícola y pecuaria) (naves, cubiertas, cercas, abrevaderos, silos, mangas ganaderas, etc.)

C) Criterios de sostenibilidad

La planificación de un proyecto agrícola sostenible implica el cumplimiento de una serie de normas, tanto impuestas como voluntarias, que atienden a criterios sociales, medioambientales y económicos, entre las que destacan:

1. Protección de los ecosistemas y la vida silvestre.
2. Administración responsable de la tierra, los recursos naturales y el medio ambiente.
3. Uso eficiente del agua y conservación de los recursos hídricos.
4. Minimización de los residuos y daños al medio ambiente.
5. Orientación de la producción hacia mercados de proximidad.
6. Conservación de los recursos biológicos y culturales (variedades locales, sistemas tradicionales de cultivo, etc.).
7. Trato justo y condiciones dignas para las trabajadoras y los trabajadores.
8. Relaciones con la comunidad: incentivar la cooperación entre los diferentes agentes del medio rural.
9. Favorecer la igualdad de género y eliminar cualquier tipo de discriminación entre las personas.

La ejecución de un proyecto agrario genera necesariamente impactos negativos que se asocian tanto a su fase de construcción como a su fase de uso. Los principales impactos que provocan las obras de infraestructuras están relacionados con la contaminación de aguas y suelos por vertidos de aceites, combustibles y residuos generados por las obras, la destrucción directa y perturbación en el hábitat de fauna y flora, la contaminación atmosférica por partículas, gases y ruidos, el sellado del suelo y el impacto paisajístico. Las actuaciones que más impacto generan en la fase de ejecución son las de movimiento de tierras. En la fase de funcionamiento, son el vallado y cercado de grandes superficies y los caminos, que generan la fragmentación del territorio, el atropello de fauna, la contaminación atmosférica por la emisión de gases y partículas

(sobre todo, en caminos no asfaltados) y ruido, así como la erosión del suelo y el peligro de incendios.

Entre otras, las medidas correctoras que se aplican ante estas actuaciones incluyen la creación de pasos de fauna y medidas contra la erosión mediante la restauración vegetal de márgenes, control de la escorrentía, etc.

Actividad propuesta 9.3

Razona si es o no sostenible un cultivo intensivo de una variedad de alto rendimiento de tomate para exportación, en invernadero de PE, con riego localizado y fertirrigación, manejo sanitario mediante plaguicidas de síntesis y mano de obra temporal.

9.2. Preparación del terreno: limpieza y nivelación

La preparación del terreno es un conjunto de prácticas que contribuyen a acondicionar el suelo para un uso en concreto, procurando el menor impacto posible. Se realiza por etapas, según el avance de la obra, para evitar la erosión del terreno. El primer paso es una limpieza del material vegetal y despeje de elementos (edificaciones, instalaciones). En segundo lugar, se trabajan las primeras capas del suelo para buscar la nivelación correcta. A continuación, se realizan los drenajes oportunos y se crean los taludes necesarios para darle una buena estabilidad al terreno. En ocasiones es ventajoso dejar el terreno intacto, con el fin de no modificar su capacidad de absorción y filtración.

En los procesos de construcción, antes de realizar la nivelación hay que transportar la tierra desde la zona de la que se extrae hasta la zona donde se necesita (en el caso de terraplenes) o retirar la tierra de la zona en la que sobra (en el caso de desmontes).

Figura 9.2
Retroexcavadora en trabajos de terraplén.
Fuente: García, V.

9.2.1. Limpieza, despeje y desbroce

La maquinaria para la demolición de edificaciones (restos de naves, almacenes) suele estar compuesta por *retroexcavadoras* o, para trabajos pesados, *buldóceres*. La retirada de restos puede hacerse

mediante la misma retroexcavadora o mediante una pala cargadora acoplada al tractor. Los restos se depositan en camiones volquete (también conocidos como *basculante* o *bañera*) para transportarlos al vertedero.

La vegetación existente, si es herbácea o de poco porte, se trata con *desbrozadoras*. Las máquinas para desbroce suelen tener un eje vertical u horizontal al que se acoplan un conjunto de elementos que golpean la vegetación y que se montan de forma perpendicular al eje, rotando con el mismo.

En el caso de tener que transportar escombros a vertedero (y para traer tierra, si es necesaria) a distancias mayores de 3 km, suele ser recomendable el uso de *palas cargadoras* y *camiones volquete*, sobre todo en el caso de que los restos y tierra que se retiren no se vayan a emplear para terraplenes.

9.2.2. Nivelación

Los métodos más frecuentes para nivelación del terreno son:

1. *Nivelación manual*. Se emplea en pequeñas superficies. Se usan *palas* para la distribución de tierras y *azadas* y *rastrillos* para la nivelación. Para la compactación se recurre a *rodillos*. Se marcan las cotas con estacas y cuerdas, una vez determinadas mediante niveles de burbuja o, más frecuentemente, mangueras de nivel. A continuación se mueve la tierra formando capas hasta llegar a los niveles marcados con cuerda.

Figura 9.3
Nivelación de un terreno agrícola por láser.
Fuente: ERPagrícola (www.sistemaagricola.com).

2. *Nivelación mecánica*. Se emplea en superficies medias y grandes. Se puede realizar una nivelación básica mediante la *grada de discos* si no se necesita precisión. Para precisiones mayores se emplea una maquinaria específica:

   a) *Tractor* o *buldócer* con hoja empujadora: para distancias de menos de 50 m.
   b) *Traílla*: para distancias entre 100 y 3000 m. Las traíllas sirven básicamente para cargar, transportar y descargar tierra.
   c) *Motoniveladora*: su función específica es nivelar terrenos y refinar taludes, pudiendo hacer estas tareas con distintas inclinaciones.

Actualmente, es habitual acoplar esta maquinaria a sistemas de nivelación láser o incluso sistemas de precisión GPS, que no necesitan estacas de control.

Actividad propuesta 9.4

Visiona los siguientes vídeos en los que se ven traíllas operando con sistemas de nivelación por láser y GPS, y contesta las siguientes preguntas:

a) ¿Cuáles son las ventajas de operar con sistemas de nivelación por láser o con GPS respecto a las técnicas tradicionales?

b) ¿Es correcto afirmar que los equipos GPS mejoran el rendimiento y aumentan la rentabilidad en una nivelación?

① ②

9.3. Infraestructuras básicas de la finca agraria

A continuación se describen algunas de las infraestructuras básicas que más habitualmente forman parte de las fincas con vocación agraria.

9.3.1. Soleras

Una solera es un *pavimento de un suelo natural*, en exterior o en interior, realizado con hormigón armado, cuya superficie superior puede quedar vista o cubierta por un revestimiento. Las soleras de hormigón son elementos no estructurales destinados a proporcionar un firme horizontal en determinadas zonas de las edificaciones, ya sea como acabado definitivo o como base para recibir otro tipo de acabados.

Se denomina *explanada* al terreno natural sobre el que se apoya la solera. En caso de que no sea un soporte apto, sobre la explanada se extiende una base granular de zahorras suficientemente compactada, separada de la explanada por un geotextil que impida la pérdida de partículas finas a capas inferiores. Sobre la base, o sobre la explanada, es conveniente colocar una lámina de polietileno antes de verter el hormigón de la solera para facilitar la distribución del hormigón y evitar humedades.

La misión de la *armadura* es la de resistir las tensiones de tracción por cambios de temperatura y humedad, evitando de este modo la fisuración. Estas tensiones se producen, sobre todo, en la superficie del pavimento, por lo que la armadura debe estar tan cerca de la superficie como sea posible, respetando los espesores de recubrimiento. El armado suele estar compuesto por un mallazo electrosoldado, aunque también se pueden utilizar hormigones con fibras de polipropileno.

La colocación de *juntas* en la solera evita la aparición de fisuras. Hay varios tipos de juntas:

a) *Juntas de separación:* son las que recorren el perímetro de la solera en contacto con elementos verticales como muros de cierre.

b) *Juntas de dilatación y contracción:* cortan la totalidad de la sección de la solera, incluyendo el mallazo. Permitiendo la libre dilatación y retracción de la masa de hormigón frente a cambios acusados de temperatura.

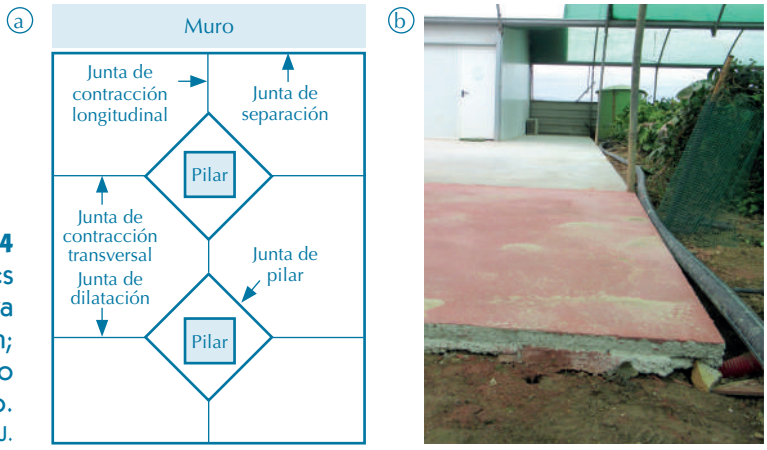


Figura 9.4
a) Vista en planta de diferentes tipos de juntas en una solera de hormigón; *b)* Solera de hormigón armado en el interior de un invernadero.
Fuente: Monfort, F. J.

9.3.2. Cimentaciones y anclajes

La cimentación es la *parte estructural* de una construcción que se encarga de transmitir las cargas al terreno, garantizando la estabilidad. Se debe realizar en función de las características del mismo, como su resistencia, cohesión, uniformidad y posibles capas freáticas, lo que se averigua realizando un estudio geotécnico.

Los anclajes son las estructuras que transmiten la carga al terreno en estructuras ligeras, tales como los invernaderos, aportando resistencia a la tracción. Sujetan la parte externa de la estructura y, en algunos casos, también la interior.

A) Cimentaciones

Los cimientos de hormigón armado son los más utilizados y los que menor volumen precisan, aunque se pueden realizar también con otros materiales como piedra, hormigón ciclópeo u hormigón en masa o con ladrillos.

Hay diferentes tipos de cimientos según su diseño, siendo los más habituales:

1. *Cimentaciones superficiales.* Descansan en las capas superficiales del suelo, soportando la carga que recibe de la construcción ampliando su base:

   a) *Cimentación por zapatas aisladas:* de planta cuadrada o rectangular, se colocan bajo pilares.
   b) *Cimentaciones por losas:* elementos de hormigón armado cuya superficie es considerablemente mayor que su espesor. Se utilizan para repartir la carga en una mayor área cuando la resistencia del suelo es muy pequeña y el peso que reciben es elevado.
   c) *Cimentaciones corridas:* se utilizan bajo elementos longitudinales como muros de cerca, muros de contención por gravedad y cerramientos. Su profundidad y anchura depende del tipo de suelo.

2. *Cimentaciones profundas.* Transmiten las cargas de una construcción a capas resistentes más *profundas*, como los pilotes, que son cilindros de hormigón armado cuyo diámetro y altura se determinan en función del tipo de suelo.

B) Anclajes

Los métodos más comunes de anclaje son:

1. *Vientos.* Pueden ser flexibles o rígidos. Son cables y sujeciones fabricados con alambre galvanizado, varilla de hierro, tubos de hierro o rollizos de madera. Van sujetos por un extremo a algún objeto de la estructura colocado en posición vertical y, por el otro extremo, amarrados a un punto fijo y seguro.

Figura 9.5
Anclaje tipo viento.
Fuente: García, V.

2. *Anclaje inyectado o micropilote.* Consiste en una armadura metálica formada por tubos, barras, hilos o cables, introducida mediante un taladro de pequeño diámetro y sellada al terreno con inyecciones de lechada o de mortero a presión. Se utiliza a menudo para absorber, además de esfuerzos de tracción, esfuerzos de compresión.
3. *Postes arriostrados.* Se colocan los postes del interior de la estructura inclinados hacia el exterior, en vez de estar verticales, y se unen los dos postes que sujetan un mismo arco mediante un cable tensor.

Figura 9.6
Poste arriostrado en el interior de un umbráculo.

Actividad propuesta 9.5

Visita la página web Novedades Agrícolas, a la que puedes acceder a través del QR adjunto, e indica los pasos que forman parte del proceso para la construcción de un invernadero multitúnel. ¿Qué tipo de cimentación y anclaje recomiendan para estabilizar la estructura?

9.3.3. Caminos

Las condiciones mínimas que debe cumplir un camino de uso agrícola son tener un piso uniforme que no forme barro cuando llueva, no presentar pendientes excesivas (es peligrosa, sobre todo, la bajada de tractores con remolque por el peligro de vuelco) y tener una anchura adecuada y curvas amplias.

Se deben realizar caminos que unan las infraestructuras de la finca (embalse, almacén, cabezal de riego, etc.) y, en las explotaciones grandes, es recomendable una vía de servicio por todo el perímetro. Las sendas interiores deben permitir el acceso a cada zona de cultivo con facilidad. Se colocan, según las necesidades, en disposición perpendicular al camino principal.

El diseño viene condicionado por la topografía, la velocidad de proyecto (velocidad máxima que puede ser mantenida en condiciones de seguridad) y las características geotécnicas de los suelos.

La pendiente longitudinal no debe superar el 8 %, salvo casos excepcionales. La pendiente transversal depende del valor de la longitudinal y de si hay asfalto o no, y es común darle valorees de entre el 2 y el 3%.

La anchura del firme en los caminos suele estar entre 3 y 6 m. La anchura de la explanación para construir el camino es de 2 m más, para la construcción de las cunetas, que permiten la evacuación del agua de lluvia caída sobre el firme y la de escorrentía de los terrenos adyacentes.

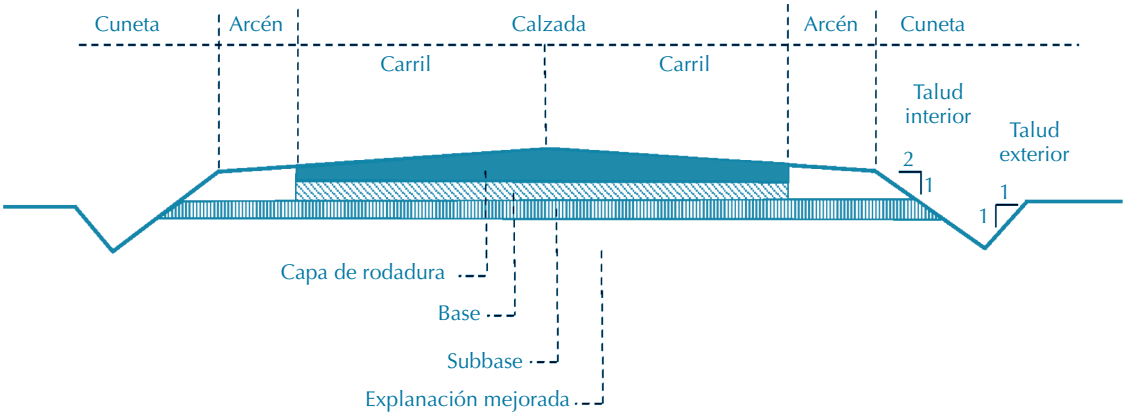


Figura 9.7
Sección transversal de un camino.

El firme de un camino se compone de *cimentación* (capa de terreno previamente compactado y limpio, con la adición de una capa de espesor variable de zahorra o grava compactada que sirva como subbase) y *pavimento* (capa dura, lisa y llana, capaz de soportar el peso de los vehículos). Cuando el pavimento es de asfalto, suele estar compuesto de dos capas: base y capa de rodadura. Pero también puede construirse con otros materiales (hormigón, adoquines de piedra, elementos prefabricados, etc.).

Se debe drenar el agua superficial y subsuperficial del camino de tal forma que se impida la acumulación excesiva en zonas inestables y la erosión aguas abajo. El diseño de los caminos debe alterar lo menos posible la red de drenaje natural.

Hay dos tipos de drenaje de caminos: transversal (surcos, badenes, etc.) y longitudinal (cunetas, etc.). Para evacuar el agua de los drenajes longitudinales se intercalan frecuentemente drenajes transversales.

PARA SABER MÁS

Los *caminos de servicio* son de titularidad privada y auxilian o facilitan las actividades propias de una finca, dan paso a fincas de un mismo propietario o dan acceso entre fincas cercanas.

Por otra parte, los *caminos rurales* son aquellos de titularidad municipal que comunican pueblos, pequeños núcleos urbanos y fincas, y se utiliza fundamentalmente con fines agrícolas, ganaderos o de aprovechamientos forestales.

En ocasiones, por una finca privada discurre una *servidumbre de paso,* que consiste en que otra finca con dificultades para comunicarse con la red pública de caminos, utilice esa franja de terreno privado como acceso.

La construcción del firme de un camino debe realizarse tras la limpieza y nivelación del terreno y el refinado de taludes. La maquinaria que se emplea para la ejecución de los firmes es variable, pudiendo utilizarse:

- Máquinas barredoras, para el acondicionamiento de la cimentación y para barrer el exceso de árido al final de la ejecución.
- Cisternas de riego.
- Camiones volquete o máquinas repartidoras, para el reparto de los áridos.
- Apisonadora, para compactar los áridos.

9.3.4. Vallados, cerramientos y muros

Los vallados, muros y otros tipos de cerramientos se realizan para delimitar, dividir o proteger un territorio, espacio de tierra o construcción.

A) Vallados y cerramientos

La ejecución de los vallados ha de someterse a la legislación vigente sobre ordenación territorial respecto al uso agrario, ganadero, forestal y cinegético. No se puede impedir el paso en las vías pecuarias y hay que respetar los pasos de animales y el vallado cinegético en el caso de zonas con elevada presencia de fauna.

El cerramiento debe disponer de una puerta de acceso principal y otras de uso auxiliar, en su caso, dispuestas regularmente en el perímetro o localizadas en puntos de acceso estratégico. Se pueden realizar cerramientos con diversos materiales como alambre de espino, mallas metálicas de acero galvanizado (de simple torsión, de triple torsión, o electrosoldada) o paneles rígidos.

Figura 9.8
Vallado con valla metálica de acero galvanizado sobre cimentación corrida.
Fuente: Monfort, F. J.

B) Muros

Un muro es una edificación o construcción vertical. Las superficies laterales de un muro se denominan *paramentos*. La superficie de apoyo se llama *base* o *solera*, y la superficie superior, *cresta* o *coronación*. Los materiales para la construcción de muros son muy variados (fábrica de ladrillo, bloques de hormigón prefabricados, hormigón armado *in situ* o prefabricado, mampostería, sillería, etc.). Según el emplazamiento y función de los muros, se dividen en:

1. *Muros de carga:* su función básica es soportar cargas muy grandes. Son elementos sujetos a la compresión y deben dimensionarse para trabajos mecánicos.
2. *Muros divisorios:* su función principal es la de aislar o separar. Deben tener determinadas características acústicas, térmicas, impermeables y de resistencia a la fricción o impactos.
3. *Muros de contención:* son capaces de poder contener tierra o agua. Estos muros generalmente están sujetos a fricción constante ya que deben soportar empujes horizontales.

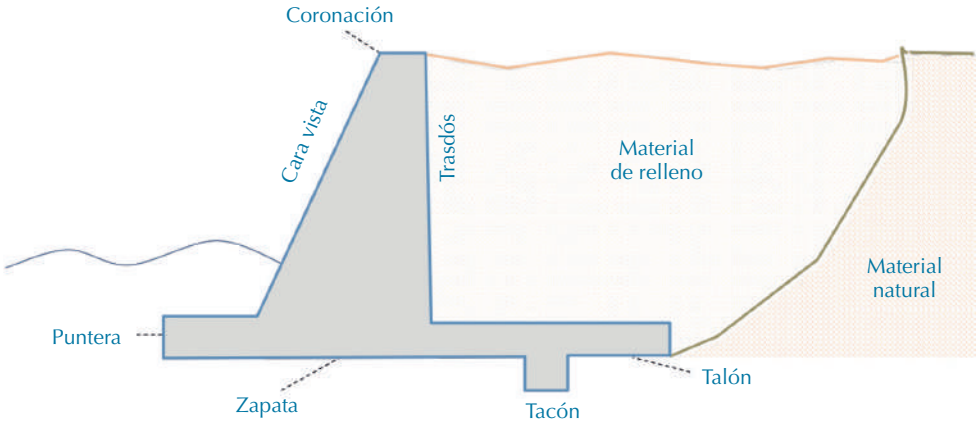


Figura 9.9
Partes de un muro de contención.

Actividad propuesta 9.6

Tras visionar los vídeos a los que puedes acceder a través de los QR adjuntos, realiza una tabla que resuma las principales características, materiales usados y técnicas de construcción de los siguientes tipos de muros:

1. Muros de mampostería o sillería; 2. Muros de ladrillos; 3. Muros de bloques de hormigón

① ② ③

9.3.5. Recomendaciones ambientales en la construcción de infraestructuras agrarias

Como buenas prácticas ambientales en la construcción de las infraestructuras que forman parte de un proyecto agrario, todas ellas orientadas a reducir los impactos en los ecosistemas, pueden citarse las siguientes:

a) Realizar el menor movimiento de tierras posible.
b) Conservar la capa vegetal para volver a colocarla en zonas alteradas.
c) Luchar contra la erosión, alterando lo menos posible el terreno, evitando pendientes elevadas y controlando adecuadamente el drenaje.
d) Estabilizar los taludes con elevada pendiente con compactación, piedras o vegetación. Evitar, en todo caso, los taludes verticales o casi verticales.
e) Intentar que los caminos transcurran por zonas de buen drenaje, evitando las áreas encharcadas, y utilizar la pendiente adecuada.
f) Proteger el flujo y la calidad de arroyos y vías fluviales.
g) Utilizar materiales de construcción sostenibles, duraderos y que necesiten poco mantenimiento, que puedan reutilizarse, reciclarse o recuperarse.
h) Reutilizar materiales y minimizar residuos.
i) Respetar el paso de la fauna, en su caso.
j) Reducir los impactos en los ecosistemas.

9.4. Electrificación rural

En una finca agraria se emplean sistemas, máquinas, herramientas e instalaciones que funcionan con energía eléctrica. El coste de la electricidad y el grado de aislamiento con respecto a la red eléctrica determinan el proyecto y su viabilidad económica. La sostenibilidad de la finca está condicionada por el ahorro y optimización del consumo eléctrico (eficiencia energética) y la adaptación de los procesos agrícolas a las condiciones ambientales y a las fuentes de energía.

9.4.1 Instalaciones eléctricas de baja tensión

Las instalaciones eléctricas para la actividad agrícola son similares a las instalaciones eléctricas de tipo industrial. No obstante, existen instalaciones que pertenecen a grupos especiales definidos en el Reglamento electrotécnico de baja tensión (RBT):

a) *Locales húmedos*: hay condensación en techos y paredes, manchas salinas o mohos, tales como las instalaciones de bombeo.
b) *Locales mojados:* los suelos, techos y paredes pueden estar impregnados de humedad y donde aparecen gotas gruesas de agua, como las cámaras frigoríficas y los invernaderos.
c) *Locales a muy baja temperatura:* como las cámaras de congelación.
d) *Talleres de reparación de vehículos:* locales para la reparación y servicio de maquinaria agrícola, como tractores, cosechadoras, etc.
e) *Locales con riesgo de incendio o explosión:* locales con presencia de polvo combustible debido a la manipulación de granos, harinas, azúcar, heno seco o fertilizantes, o con presencia de fibras inflamables (algodón, lino). (Por ejemplo: silos, molinos, desmotadoras, etc.).

Figura 9.10
a) Caja de control de una unidad condensadora de dos cámaras frigoríficas.
b) Celdas de un transformador.
Fuente: García, V.

9.4.2. Necesidades de electrificación agraria

Las instalaciones agrarias donde se precisa el suministro de energía eléctrica son:

a) *Estaciones de bombeo.* El equipo eléctrico de una instalación de bombeo supone una parte importante de su coste total, siendo el consumo de energía un gasto significativo de la explotación. La electricidad se obtiene de una línea de alimentación normalmente de alta o media tensión, que va a un centro de transformación. Este se conecta con la instalación de baja tensión.

b) *Invernaderos.* Incluye el cable de alta tensión, el centro de transformación a baja o a media tensión, los cuadros de protección y maniobra, las líneas de baja o media tensión, los receptores del sistema de riego o fertirrigación (motores o electroválvulas), las instalaciones de alumbrado (para fotoperiodo), los receptores del sistema de ventilación y climatización (motores que accionan las ventanas, equipos de calefacción, pantallas térmicas, sistemas de nebulización) y los sistemas de control y automatización. Al ser instalaciones mojadas, el RBT obliga a usar canalizaciones estancas y, como las temperaturas pueden ser muy elevadas, se usan canalizaciones con bandeja metálica tipo rejilla, con cables fijados sobre esta. La toma de tierra de todos los elementos es obligatoria.

c) *Instalaciones frigoríficas.* Como locales mojados, tienen una serie de condiciones impuestas en el RBT.

d) *Naves agrícolas.* Incluyen la línea de alta tensión, el centro de transformación, los cuadros de protección y maniobra, las líneas de baja tensión, las instalaciones para alumbrado, los receptores para sistemas de ventilación y climatización y las tomas de corriente. Normalmente se usan circuitos de fuerza con corriente trifásica y circuitos de alumbrado y tomas de corriente monofásica. Si se instalan cámaras frigoríficas, deben tener canalizaciones estancas y deben instalarse los aparatos de mando y protección fuera de estos locales.

RECUERDA

✓ Para el montaje de una red eléctrica en la explotación agraria se necesita la redacción de un proyecto eléctrico, que será aprobado por el órgano competente de la comunidad autónoma. El proyecto de instalación eléctrica debe definir y caracterizar todos los elementos que intervienen en la instalación eléctrica de la explotación.

9.4.3. Energías renovables

La actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos reviste una importancia fundamental en la consecución de los objetivos de seguridad del abastecimiento energético y desarrollo tecnológico e innovación. En el sector agrario, las energías renovables son una alternativa válida desde un punto de vista técnico y económico. Su rentabilidad se basa en un estudio de las necesidades reales de cada proceso y de las posibilidades del entorno local (sol, viento, agua, subsuelo, bioenergía, etc.).

Figura 9.11
Instalación fotovoltaica para el bombeo de agua.
Fuente: Tecnoleo, SL.

El aumento del precio de los combustibles provoca un aumento de los costes de producción de los productos agrícolas. La transición hacia nuevos tipos de producción de energía contribuye a preservar el medio ambiente y a luchar contra el cambio climático.

CUADRO 9.2
Aplicaciones de las energías renovables en una finca agrícola

Aplicación	Energía solar fotovoltaica	Energía solar térmica	Energía eólica	Energía hidroeléctrica	Biomasa y biogás	Geotermia
Iluminación	X	X	X	X	X	X
Bombeo y riego	X	X	X	X	X	X

[.../...]

Cuadro 9.2 (cont.)

Aplicación	Energía solar fotovoltaica	Energía solar térmica	Energía eólica	Energía hidroeléctrica	Biomasa y biogás	Geotermia
Tratamiento de agua	X	X	X	X	X	X
Secado	X	X	X	X	X	X
Climatización	X	X	X	X	X	X
Aparatos eléctricos	X		X			
Maquinaria móvil agrícola	X		X			

Actividades propuestas

9.7. La legislación sobre el uso de energías renovables establece la normativa y el proceso para su utilización. Realiza un estudio de la legislación actual visitando el enlace al que puedes acceder a través del QR (1), y la normativa de uso en el sector agrícola.

9.8. En el código QR (2) puedes consultar la publicación *Ahorro y eficiencia energética en invernaderos* del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Explica en qué consiste la aplicación de energía solar térmica como apoyo a la calefacción de un invernadero.

① ②

Recursos WWW

En las páginas web de las empresas generadoras y distribuidoras se publica la documentación técnica necesaria para elaborar un proyecto de electrificación. Puedes consultarla en los enlaces de Iberdrola (1) y la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial (2), a los que puedes acceder a través de los QR adjuntos:

① ②

9.5. Planificación y programación temporal

La planificación de un proyecto consiste en estructurar en fases y tareas las acciones que se van a realizar, y establecer la secuencia, prioridad o dependencias que existen entre sí para lograr los objetivos propuestos, estimando su duración y definiendo los recursos necesarios.

El *diagrama de barras* o *de Gantt* es el método más sencillo de programación. Representa de manera gráfica la duración en el tiempo de cada una de las actividades en que se divide un proyecto, o de los recursos que se necesitan (humanos, materiales, maquinaria, herramientas, etc.).

Un diagrama de Gantt es una gráfica de dos ejes. En el eje vertical se establecen las actividades o recursos, mientras que en el eje horizontal se establece su duración. En el diagrama se muestra el origen y el final de cada una de las tareas (representadas cada una por una barra). Indica qué se debe estar haciendo en cada momento y así corregir posibles desviaciones o retrasos.

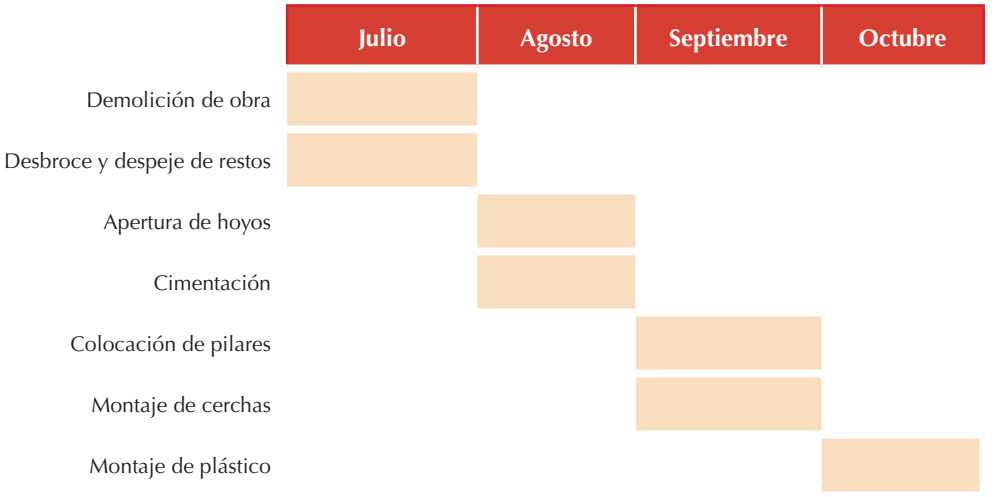


Figura 9.12
Ejemplo simplificado de diagrama de barras o de Gantt de la construcción de un invernadero.

Los proyectos suelen presentar numerosos cambios a lo largo de su ejecución o desarrollo por imprevistos, deficiencias u otro tipo de circunstancias. Una buena planificación supone ventajas económicas, tanto de ejecución en plazos, de seguridad y calidad como en su puesta en producción.

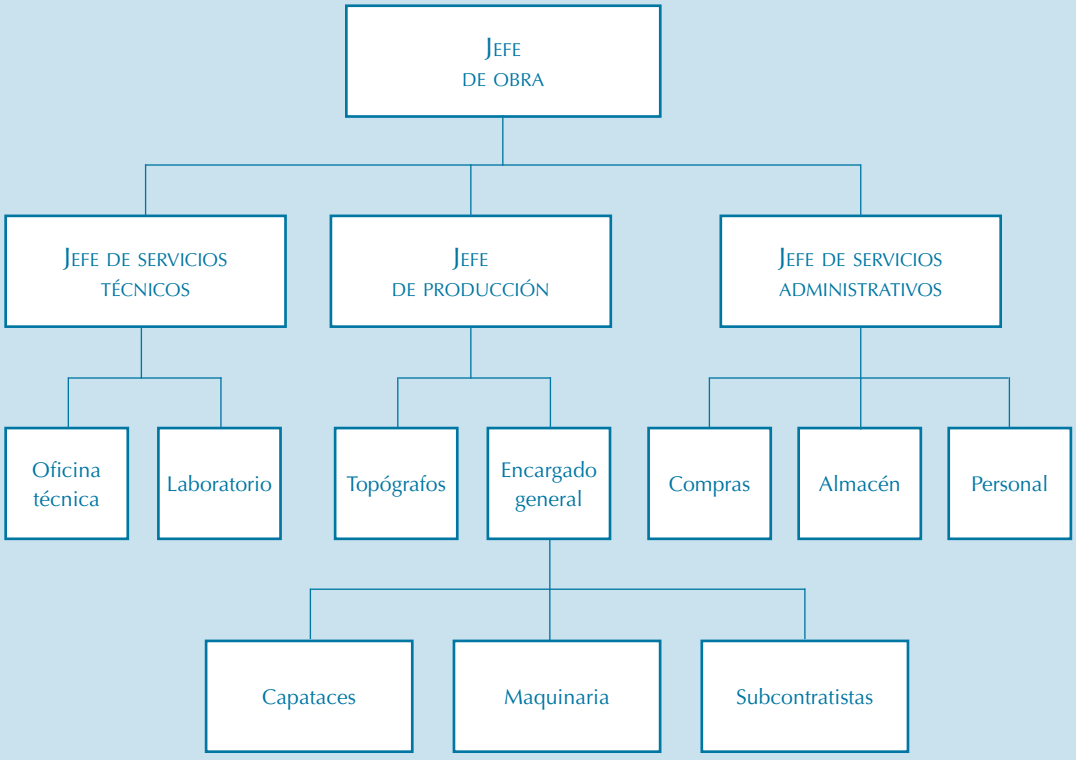
PARA SABER MÁS

Los métodos de programación PERT (*Program Evaluation and Review Technique)* y CPM *(Critical Path Method*) utilizan como unidad de representación círculos unidos por líneas. Cada uno de los círculos representa un suceso y cada una de las líneas representa una actividad. Son métodos más complejos que el diagrama de Gantt. Si quieres conocerlos, puedes acceder a ellos a través de los siguiente QR: Método CPM (1) y Método PERT (2).

① ②

Recuerda

✓ La ejecución de la obra en un proyecto de tamaño medio está dirigida por el jefe de obra, del que dependen los servicios técnicos, los administrativos y la producción. En obras más pequeñas se suelen unificar los cargos. En la siguiente figura se presenta un organigrama tipo para estas obras:



Organigrama de recursos humanos en una obra.

Fuente: Yepes, V., 2017.

9.6. Prevención de riesgos laborales en la planificación y ejecución de infraestructuras agrícolas

La normativa básica de prevención de riesgos laborales y seguridad en el trabajo puede agruparse en tres grandes grupos:

a) *Normas de carácter internacional.* Convenios de la *Organización Internacional del Trabajo (OIT)*, de la que España es miembro.

b) *Normas de carácter europeo.* La más significativa es la *Directiva Marco 89/391/CEE,* del Consejo, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo, que constituye el marco jurídico general en el que opera la política de prevención comunitaria.

c) *Normas de carácter estatal o nacional. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales y Ley 54/2003, de Reforma del Marco Normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.* Las disposiciones de la ley tienen carácter de *derecho mínimo*, pudiendo ser mejoradas y desarrolladas en los convenios colectivos sectoriales. El objetivo de la Ley 31/1995 es promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de los riesgos derivados del trabajo

RECURSO WWW

En la página web del Ministerio de Empleo y Seguridad Social, a la que puedes acceder a través del QR adjunto, puedes encontrar toda la información relativa a la normativa en vigor en materia de PRL por sectores de actividad.

En la ejecución de infraestructuras agrícolas, los riesgos más importantes son los ocasionados por:

- Maquinaria y herramientas para la ejecución de la obra.
- Tareas de ejecución de la obra.
- Medios auxiliares para la ejecución de la obra.

A través de la *evaluación inicial de los riesgos* existentes en los lugares de trabajo, se deben planificar las actuaciones preventivas necesarias que eliminen las consecuencias negativas que podrían tener los riesgos detectados en la seguridad y salud de los trabajadores:

- Las *técnicas de prevención de riesgos laborales:* son aquellas técnicas que están encaminadas a actuar directamente sobre los riesgos, antes de que se lleguen a materializar y, por consiguiente, puedan producir daños en la salud de los trabajadores. Son, por lo tanto, técnicas de tipo activo.
- *Las técnicas de protección:* aunque también son consideradas como técnicas activas, dado que se realizan con carácter previo a la materialización del riesgo, tienen como objetivo fundamental actuar únicamente sobre las consecuencias.

Para realizar una prevención más efectiva, se organizan las tareas en distintos grupos en función de los riesgos que llevan asociados, destacando los siguientes:

a) *Mantenimiento de la maquinaria:* quemaduras, atrapamientos, etc.
b) *Movimientos de tierra y nivelación:* vuelcos, atropellos, atrapamientos, vibraciones, ruido, polvo ambiental, caídas al subir o bajar de la máquina, desprendimientos y proyecciones, desplome de tierras, caídas a distinto nivel, explosiones, emanaciones de gases o contactos con conducciones eléctricas o hidráulicas.

c) *Despeje, transporte a vertedero:* atropellos, colisiones, vuelcos, caídas a distinto nivel, caídas de material, atrapamientos.
d) *Cimentaciones y hormigonados:* atropellos, colisiones, vuelcos, caídas a distinto nivel, caídas de material, atrapamientos, caída de materiales, cortes con armadura metálica, proyección de partículas.
e) *Rellenos y compactaciones:* caídas de material, atropellos, atrapamiento, vibraciones, sobreesfuerzos y ruidos.
f) *Instalaciones eléctricas:* contacto con líneas eléctricas, influencias de cargas electromagnéticas por líneas de alta tensión, electricidad estática, quemaduras y atrapamientos.
g) *Trabajo con grupo electrógeno:* deslizamiento de la máquina, vuelco, atrapamiento, quemadura, electrocución.
h) *Soldadura:* aplastamiento de manos, inhalación de vapores metálicos, proyección de partículas, quemaduras, electrocución, explosión, incendio.
i) *Trabajo con andamios:* caídas a distinto y mismo nivel, desplome del andamio, caída de objetos, golpes y atrapamientos, contacto eléctrico.

Las normas o medidas preventivas más importantes que deben implementarse para minimizar o eliminar los riesgos citados son:

1. Inspeccionar diariamente de la maquinaria.
2. No permanecer en el radio de acción de la misma.
3. Utilizar señales visuales y sonoras de marcha atrás de la maquinaria.
4. No transportar personas.
5. Respetar de las pendientes máximas de trabajo, así como las distancias mínimas de seguridad.
6. Respetar distancias de seguridad con respecto a líneas eléctricas.
7. Utilizar los aislamientos eléctricos convenientes.
8. Posicionar el grupo electrógeno en terreno horizontal, poner calzos y frenos.
9. Parar la máquina cuando se está reparando.
10. No acopiar botellas o bombonas de gases licuados.
11. Utilizar los EPI correspondientes.
12. Comprobar conexiones en las mangueras.
13. Evitar chispas en el entorno, no soldar bajo la lluvia.
14. Comprobar aislamientos eléctricos.
15. Verificar el estado de los andamios, su oxidación, etc.
16. Cortar corriente eléctrica en líneas cercanas.
17. Asegurar la estabilidad del andamio.
18. Inmovilizar plataformas de trabajo.
19. Instalar barandillas con la altura adecuada.
20. Mantener el orden y la limpieza.

9.7. Viabilidad económica de un proyecto agrícola

El estudio de la viabilidad económica es uno de los pasos previos que se debe realizar antes de crear una empresa o ejecutar un proyecto. La rentabilidad en el sector agrario viene en muchas ocasiones determinada por el acceso a las ayudas agrarias derivadas de la Política Agraria Común (PAC).

9.7.1. Estudios de viabilidad económica

Se conoce como *análisis de viabilidad económica* al estudio que intenta predecir el eventual éxito o fracaso de un proyecto, utilizando datos a los que se accede a través de diversos tipos de investigaciones (encuestas, estadísticas, etc.). Se realiza una previsión de ingresos y gastos, así como de cobros y pagos. Un proyecto debe generar resultados positivos y suficientes, en consonancia con la inversión realizada. Un proyecto es viable si produce beneficios y liquidez.

Para realizar el estudio de viabilidad debe estar bien definido el plan empresarial, lo que incluye una descripción clara de la actividad que se pretende realizar, con su plan operativo y los recursos técnicos y humanos necesarios y disponibles, un estudio de mercado y un plan de *marketing* en el que se establezca la política comercial, es decir, las decisiones sobre los productos, precios, promoción y distribución de los mismos.

RECUERDA

✓ Un análisis de mercado debe responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el mercado que quiero alcanzar?
2. ¿Quiénes son mis competidores en este mercado?
3. ¿Existe capacidad para crecer en ese mercado?
4. ¿Cuál es el tamaño de ese mercado?
5. ¿En qué se diferencia mi producto o servicio al de la competencia?
6. ¿Cómo puedo alcanzar este mercado?
7. ¿Cuáles son los modelos de negocio de mis competidores en este mercado?
8. ¿Existe alguna manera de hacerlo de diferente forma o mejor?
9. ¿Qué es lo que los clientes esperan de este tipo de producto o servicio?
10. ¿Cuál es su ventaja competitiva en este mercado?

Actividad propuesta 9.9

Elige un producto agrícola y realiza un estudio de mercado siguiendo las diez preguntas indicadas, utilizando Internet y revistas especializadas. El producto deberá ser novedoso o tratarse de un producto tradicional con un servicio o una característica nueva.

Un estudio de viabilidad debe constar, al menos, de los siguientes elementos:

a) *Plan de inversión:* enumeración y cuantificación de la inversión inicial y durante los primeros años.
b) *Plan de financiación:* estudio de los recursos propios y ajenos, y coste de los mismos.
c) *Previsión de ingresos y gastos para cada año.*
d) *Estudios de rentabilidad económica.*

9.7.2. Previsión de ingresos y gastos en una finca agraria. Umbral de rentabilidad

Los *gastos* de una finca agraria pueden clasificarse en aquellos relacionados con su constitución, instalación o puesta en marcha (gastos de establecimiento e inversiones), y aquellos otros que están directamente vinculados con su funcionamiento (gastos de explotación). Estos últimos pueden ser, a su vez, divididos en fijos y variables (cuadro 9.3).

Cuadro 9.3
Gastos e inversiones principales que deben considerarse en una finca agraria

Gastos de establecimiento / Inversiones	Gastos de explotación	
– Permisos, licencias, autorizaciones… – Gastos notariales y registrales. – Honorarios de proyectos, asesoramiento y estudios de viabilidad. – Adquisición de terrenos, edificios, almacenes… – Instalaciones, maquinaria, mobiliario, equipos informáticos, herramientas… – Bienes inmateriales: patentes, marcas, derechos de traspaso… – Aportaciones de capital social.	*Gastos variables:* – Fertilizantes. – Fitosanitarios. – Substratos. – Semillas, plantones… – Piensos y medicamentos. – Combustibles. – Servicios contratados. – Suministros (electricidad, agua, gas…).	*Gastos fijos:* – Nóminas. – Seguros. – Reparación y mantenimiento maquinaria e instalaciones. – Intereses y gastos financieros. – Servicios contratados. – Arrendamientos. – Amortizaciones. – Tasas e impuestos.

Por otra parte, los *ingresos* de una actividad empresarial pueden dividirse en *ordinarios* (por venta de productos, servicios realizados, ayudas y subvenciones recibidas e ingresos financieros) y *extraordinarios* (aquellos que se obtienen de manera esporádica o puntual, como la venta de una máquina). Los ingresos más importantes son los obtenidos a través de las ventas.

Estimar el volumen de ventas de una finca agraria no es tarea fácil, ya que las cosechas son muy variables y los precios de venta pueden sufrir importantes variaciones. Para hacer una estimación lo más aproximada posible, hay que tener en cuenta los distintos productos (con sus diferentes precios, potenciales clientes, estacionalidad, etc.), la capacidad máxima de producción (que limita la capacidad máxima de ventas) y el precio de los bienes o servicios producidos, que puede estimarse a través de estudios y estadísticas o mediante datos ofrecidos por otros productores o distribuidores.

Para que se pueda concluir que el proyecto es viable, la estimación de ventas debe ser siempre igual o superior al *umbral de rentabilidad* calculado. El umbral de rentabilidad es la cifra de ventas que debe alcanzar la empresa para cubrir todos los costes fijos y variables y no tener pérdidas. Se calcula dividiendo los costes fijos por el margen bruto del producto, siendo el margen bruto los ingresos por ventas menos los costes variables.

El resultado económico anual de una finca agraria puede calcularse como se indica en la figura 9.14. El beneficio resultante (beneficio después de impuestos) debe emplearse en retribuir los llamados *costes de oportunidad* (sueldo asignado al agricultor, renta atribuida a la tierra y al capital propio invertido), siendo el sobrante el beneficio empresarial.

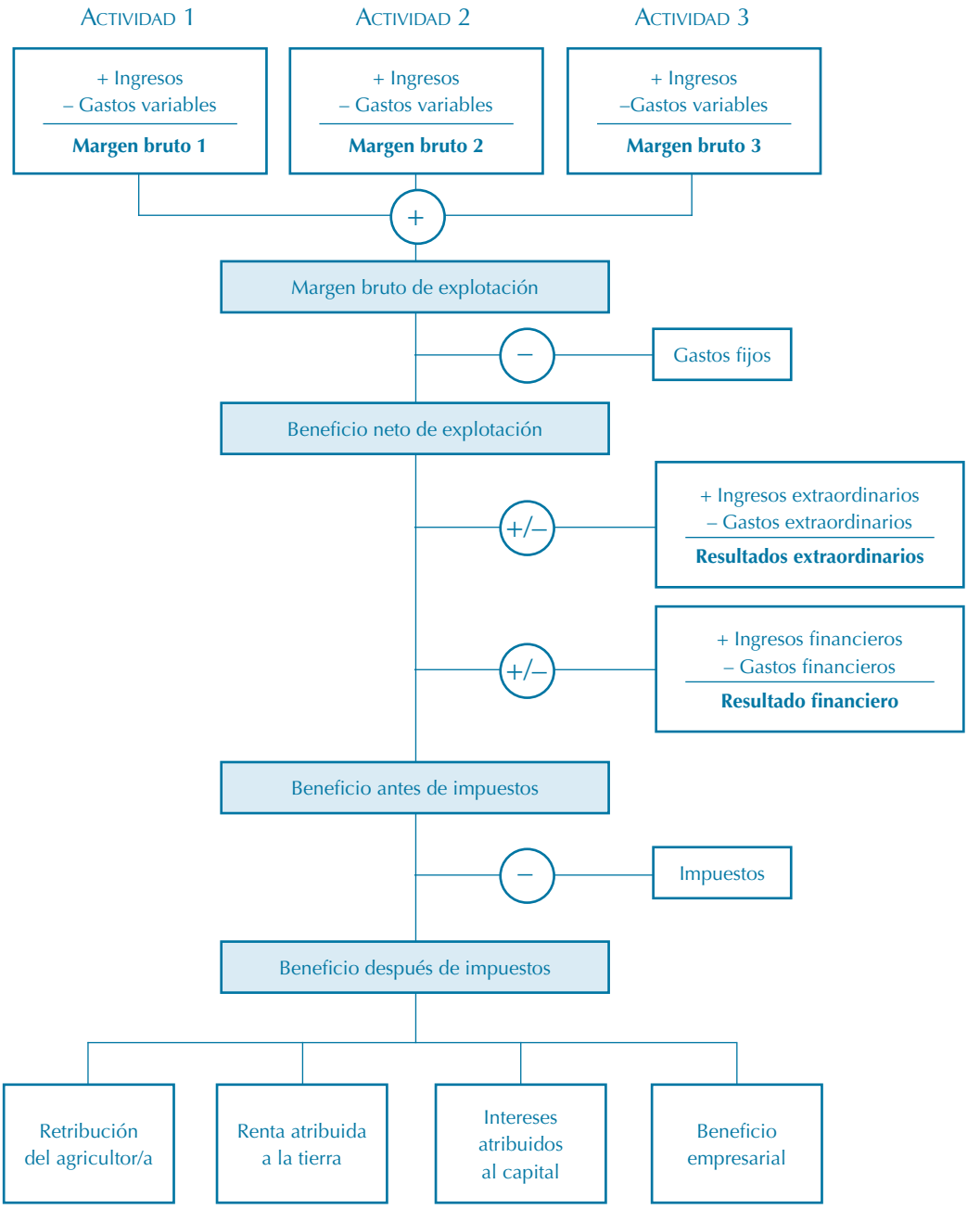


Figura 9.13
Esquema del cálculo del beneficio económico en una empresa agraria obtenido por márgenes brutos.

9.7.3. Ayudas agrarias

Las *ayudas agrarias* se ofrecen con el objetivo de conseguir unas empresas agrícolas más sostenibles y rentables. Provienen en su mayoría de la Unión Europea a través de la PAC (Política Agraria Común), aunque también hay ayudas estatales y de las comunidades autónomas. Los

principios en los que se fundamenta la PAC desde sus inicios son la unidad de mercado europeo, con libre circulación de productos agrarios, el establecimiento de medidas protectoras frente a la competencia extracomunitaria y la solidaridad financiera.

En un proyecto agrícola deben tenerse en cuenta estas ayudas, que pueden ser fundamentales para la viabilidad y la rentabilidad económica de la producción. Es un factor más que debe considerarse a la hora de llevar a cabo la elección del cultivo y el sistema de explotación, considerando los condicionantes, los plazos y las premisas para ser beneficiario.

Los datos de trabajo en la explotación agraria se expresan en número de jornadas completas o parciales, o bien en unidades de trabajo-año (UTA). Una UTA equivale al trabajo que realiza una persona a tiempo completo a lo largo de un año. Es el mínimo computable para recibir una de estas ayudas. En el caso de la ganadería, las explotaciones se miden según la superficie de pastos y las cabezas de ganado por UGM (unidad de ganado mayor).

Las ayudas de la PAC se financian con cargo a dos fondos europeos:

a) *FEAGA (Fondo Europeo Agrícola de Garantía Agraria):* las ayudas van dirigidas a regularizar los mercados agrarios en los diferentes países comunitarios, regular la exportación de productos agrícolas a países terceros, realizar pagos directos a agricultores, a la diversificación y reestructuración, a la promoción de productos agrícolas en el mercado interior europeo y de países terceros, etc.
b) *FEADER (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural):* la finalidad principal es el fomento del desarrollo rural.

El *Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA)* es un organismo autónomo, adscrito al Ministerio en materia de agricultura, que tiene como misión principal hacer el pago de las ayudas a los productores que cumplan con los objetivos establecidos por la PAC. El FEGA tiene un Plan Nacional de controles de las superficies declaradas, donde se realizan controles administrativos y controles sobre el terreno.

Los principales objetivos de la PAC han ido evolucionando con numerosas reformas. Actualmente existen ayudas "desacopladas" de la producción, que fomentan prácticas agrícolas beneficiosas para el clima y el medio ambiente, en vez de fomentar la producción. Pueden agruparse en dos pilares básicos, cada uno de los cuales va asociado a un fondo agrario.

A) Primer pilar: pagos directos (abonados por hectárea) y medidas de mercado, con cargo al FEAGA

Son ayudas *dirigidas a estabilizar la renta agrícola y a fomentar el mercado* a través del desarrollo de etiquetas de calidad o la promoción de los productos agrícolas de la UE.

Las ayudas directas (conocidas como *pago básico*) pueden ser percibidas por los agricultores en activo, que tengan derechos de pago básico, sujetos a ciertas condiciones, y que no están vinculados a la tierra (se pueden comprar, vender o ceder). Además, se ha de disponer de una superficie de terreno subvencionable y cumplir con la condicionalidad, lo que significa respetar ciertas prácticas de respeto medioambiental, bienestar animal y seguridad alimentaria. Las ayudas del pago básico se deben solicitar anualmente a través de la SU (Solicitud Única).

Algo más del 50 % de la cantidad concedida por pago básico está vinculada a tres prácticas agrícolas respetuosas con el medio ambiente: la diversificación de cultivos, el mantenimiento de pastos permanentes y la conservación del 5 % de las superficies de interés ecológico, o a

medidas que se considere que entrañen, como mínimo, unas ventajas medioambientales equivalentes. Es lo que se conoce como *pago verde* o *greening*.

Por otra parte, con el fin de fomentar el recambio generacional, los jóvenes agricultores se benefician de una ayuda adicional del 25 % de las ayudas directas durante los cinco primeros años (además de las primas de instalación).

A través de la política de calidad de la PAC, la UE establece una serie de medidas para ayudar a los productores a aprovechar la calidad de los productos europeos. Actualmente hay registradas más de 1300 denominaciones de origen protegidas (DOP), indicaciones geográficas protegidas (IGP) o especialidades tradicionales garantizadas (ETG).

B) Segundo pilar: ayudas para la puesta en marcha de proyectos de desarrollo rural

Las *ayudas a la incorporación de jóvenes agricultores* son ayudas puntuales de entre 20 000 € y 70 000 €, en función de cada comunidad autónoma y de los requisitos que se cumplan. Están financiadas conjuntamente por la Unión Europea, el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y las comunidades autónomas. La gestión de estas subvenciones corresponde al FEADER, estando enmarcadas dentro de los *Planes de Desarrollo Rural (PDR)*. Para acceder a ellas hay tener entre 18 y 39 años, presentar un plan empresarial de la actividades agrícola que se va a desarrollar, comprometerse a ejercer la actividad agraria en la explotación y mantener las inversiones objeto de ayuda durante un determinado periodo de tiempo, además de tener el nivel de formación o capacitación suficiente, o bien comprometerse a adquirirlo en un determinado plazo de tiempo. Otras ayudas englobadas en este segundo pilar son las destinadas a la adopción y mantenimiento de prácticas y métodos de agricultura ecológica, pagos compensatorios por pertenecer a fincas localizadas en la Red Natura 2000, zonas de montaña, etc.

RECUERDA

✓ La llamada *condicionalidad* engloba los requisitos legales de gestión y las buenas condiciones agrarias y medioambientales que deben cumplir los agricultores que reciban ayudas en el marco de la PAC. Estas condiciones están relacionadas con la protección del agua, del suelo y de la reserva de carbono y la conservación del paisaje, así como con el bienestar animal. Están establecidas en el RD 980/2017, que modifica el RD 1078/2014, al que puedes acceder a través del QR adjunto.

RECURSO WWW

En la página web del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente se relacionan los tipos de ayudas, los beneficiarios y los condicionantes para España. Accede a través de este QR.

Resumen

- En un proyecto agrícola sostenible, tan importante es la ejecución del mismo como las fases previas de diseño, planificación y evaluación económica. La sostenibilidad de un proyecto agrario implica una planificación integral de las actividades productivas, de manera que sean respetuosas con el uso sostenible de los recursos y de los ciclos de producción. Además, debe asegurar una calidad de vida digna para los productores, por lo que no pueden olvidarse los estudios de viabilidad, tanto económica como administrativa y legal, y la solicitud de ayudas, que garantizan que un proyecto determinado sea ejecutado con éxito. Todos los trabajos de ejecución de infraestructuras agrarias deben realizarse teniendo en cuenta la normativa en materia de prevención de riesgos laborales.

Supuesto práctico

Realiza el estudio del diseño integral de una finca agraria real que se encuentre en producción. El estudio debe contener la siguiente información:

1. Identificación y localización de la finca. Mapas y ortofotografía. Acceso. Croquis o plano con las infraestructuras.
2. Descripción de la orientación productiva de la finca: cultivos y superficie y sistemas de producción.
3. Inventario y descripción de los espacios, infraestructuras, instalaciones y construcciones accesorias, incluyendo fotografías, materiales de construcción y dimensionado.
4. Análisis crítico y propuestas de mejora, teniendo en cuenta la sostenibilidad de la finca.

Actividades de autoevaluación

1. Un proyecto consta de:
   - ☐ *a)* Anteproyecto, planos, pliego de condiciones y presupuesto.
   - ☐ *b)* Memoria, planos, pliego de condiciones y presupuesto.
   - ☐ *c)* Anteproyecto, diseño, planos y presupuesto.
   - ☐ *d)* Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

2. Para la ejecución de muros de cerramiento, la mejor cimentación es:
   - ☐ *a)* Cimentación por zapatas.
   - ☐ *b)* Cimentación flotante.
   - ☐ *c)* Cimentación corrida.
   - ☐ *d)* Anclajes.

3. El estudio de impacto ambiental es un proceso encaminado a:
   - ☐ *a)* Identificar y valorar el precio de la ejecución de las obras.
   - ☐ *b)* Identificar, predecir, interpretar, valorar, prevenir, corregir y comunicar el efecto de un plan, proyecto o actividad sobre el medio ambiente.
   - ☐ *c)* Analizar el impacto que se ha producido al final de la obra.
   - ☐ *d)* Todas las opciones anteriores son correctas.

4. El umbral de rentabilidad es:
   - ☐ *a)* La cifra de ventas que debe alcanzar una empresa para cubrir todos sus costes y no tener pérdidas.
   - ☐ *b)* El resultado económico anual de una finca.
   - ☐ *c)* Los ingresos generados menos el coste de oportunidad.
   - ☐ *d)* El beneficio empresarial.

5. Las ayudas agrarias se ofrecen con el objetivo de:
   - ☐ *a)* Crear un mercado menos competitivo con los países extracomunitarios.
   - ☐ *b)* Imponer aranceles a los productos agrarios entre los países de la Unión Europea.
   - ☐ *c)* Reforzar la unidad del mercado europeo con la libre circulación de productos agrarios.
   - ☐ *d)* Aumentar la productividad de los cultivos.

SOLUCIONES:

1. a **b** c d	**3.** a **b** c d	**5.** a b **c** d
2. a b **c** d	**4.** **a** b c d	

Bibliografía

Altieri, M. A (1997). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable.* Ed. ACAO-Clades. Habana.

Ayers, R. S., Westcot, A. W. (1985). *Water quality for agriculture.* FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. Roma. Italia.

Bello, A. y González, J. A. (1997). "Ecología de sistemas agrarios". *Geológica*, 5:73-93. Huesca

Cabello, A., Barbero, J. A., Martín, R. A. y Escobar, A. I. (2011). *Contabilidad agraria e introducción a la informática.* Ed. Junta de Andalucía. Sevilla.

Carreras, J., Masalles, R. M., Ninot J. M. y Vigo, J. (2006). *Manual dels hàbitats a Catalunya, vol. VIII. Terres agrícoles i àrees antròpiques*. Ed. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

Domínguez, A., Roselló, J. y Aguado, J. (2002). Ed. SEAE y Phytoma.Valencia. *Diseño y manejo de la diversidad vegetal en agricultura ecológica*.

Fernández-Escobar, R. (2018). *Planificación y diseño de plantaciones frutales.* 3.ª Edición. Mundi-Prensa. Madrid.

Fernández, M. M., Aguilar, M. I., Carrique, J. R., Tortosa, J, García, C., López, M. y Pérez, J. M. (2014). *Suelo y medio ambiente en invernaderos.* Ed. Junta de Andalucía. Sevilla.

Fuentes Yagüe, J. L. (2003). *Técnicas de Riego. Ediciones Mundi-Prensa.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

García-Serrano, P. *el al.* (2010). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Guzmán, G. y Alonso, A. (2008). *Buenas prácticas en producción ecológica. Asociaciones y rotaciones.* Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Labrador, J., Porcuna, J. L. y Reyes, J. L. (2006). *Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica.* Ed. (Labrador, J.). SEAE. MAPA.Valencia.

López Galán, E. y Miñano Fernández, F. (1988). *Métodos rápidos de análisis de suelos.* Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid

MAROTO, J. V. (1995). *Horticultura herbácea especial.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
—(2008). *Elementos de horticultura general.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
MARÍN GÓMEZ, J., GARCÍA LÓPEZ, R., PÉREZ MARÍN., J. y BANEGAS ORTIZ, J. 2015. *Implantación de cultivos en agricultura convencional y ecológica.* Editorial Síntesis. Madrid.
MARTÍN RODRÍGUEZ, A., ÁVILA ALABARCES, R., YRUELA MORILLO, M. C., PLAZA ZARZA, R., NAVAS QUESADA, A. y FERNÁNDEZ GÓMEZ, R. (2009). *Manual de riego de jardines.* Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. Sevilla.
MOYA TALENS, J.A. 2009. *Riego localizado y fertirrigación.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
ONSTAD, C. A. y FOSTER, G. R. (1975). *Erosion modeling on a watershed.* Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 26: 1102-1104. SF. Joseph (Míchigan).
RAMÍREZ, L., ÁVILA, M. y ALEZONES, J. (2017). *Evaluación de precipitación y evaporación en estaciones climatológicas convencionales y automatizadas.* Novum Scientiarum Researchgate. Fundación para la Investigación Agrícola Danac. Yaracuy. Venezuela.
RODRÍGUEZ, J. A.; LÓPEZ, M. y GRAU, J. M. (2009). *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España.* MAAMA, IMA, MCI. Madrid
URBANO, P. (1999). *Tratado de fitotecnia general.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
YEPES, V. (2017). Procedimientos-construcción-blogs-upv.es